

# **Authentische Vermittlung von Naturwissenschaften im Schülerlabor**

Förderung der authentischen Wahrnehmung von  
Naturwissenschaften durch Einblicke in die Forschung des  
Sonderforschungsbereichs (SFB) 677 mittels Videos

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von  
Insa Stamer

Kiel, 2019



Erste Gutachterin : Prof. Dr. Ilka Parchmann  
Zweiter Gutachter : Prof. Dr. Stefan Schwarzer

Tag der mündlichen Prüfung : 02.12.2019  
Zum Druck genehmigt : 02.12.2019

*gez. Prof. Dr. Frank Kempken, Dekan*



## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei zahlreichen Personen bedanken, die zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen haben.

Mein ganz besonderer Dank gilt Prof. Dr. Ilka Parchmann, die es mir nicht nur ermöglicht hat am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften zu promovieren, sondern mir auch in jeder Phase der Promotion mit höchst hilfreichen und kompetenten Ratschlägen und Feedback zur Seite stand. Auch bei Prof. Dr. Stefan Schwarzer möchte ich mich herzlich für die hilfreiche, fachliche Begleitung meiner Arbeit als auch für das Vertrauen, die Leitung des Schülerlaborprogramms *klick!* übernehmen zu dürfen, bedanken. Des Weiteren danke ich Prof. Dr. Thisbe Lindhorst für die langjährige Unterstützung und Zusammenarbeit, schon während meiner Masterarbeit. Darüber hinaus gilt mein Dank Dr. Tim Höffler für eine großartige Unterstützung insbesondere beim Verfassen meiner ersten Artikel als Erstautorin.

Zudem bedanke ich mich bei Hanno Pönicke, Mara Thiele und Marc David, deren Abschlussarbeiten ich begleiten durfte, für die schönen Erfahrungen und die produktive Zusammenarbeit bei der Datenauswertung und Interpretation.

Da die Studie ohne all die Schüler\*innen und deren Lehrkräfte hätte nicht durchgeführt werden können, bedanke ich mich herzlichst für deren Teilnahme an den prä-, post- und follow-up-Befragungen, sowohl während, als auch nach dem Besuch im Schülerlabor. Zudem danke ich den Studierenden, welche die Schüler\*innen an den Stationen im *klick!* betreut haben.

Außerdem möchte ich mich bei den Forschenden des Sonderforschungsbereichs 677 für die fachliche Beratung und die Zusammenarbeit bei der Videoentwicklung bedanken. An dieser Stelle gilt mein Dank auch Matthias Burmeister für den zeitintensiven Videodreh und den Schnitt der Videos.

Auch der Abteilung der Chemiedidaktik am IPN möchte ich meinen großen Dank für die schöne Zeit am IPN sowie bei Fachtagungen inklusive der zahlreichen kurzen und auch längeren Unterhaltungen sowie fachlichen Diskussionen aussprechen. Besonders bedanken möchte ich mich an dieser Stelle bei Tobias Plöger, Maria Weisermann, Wilfried Wentorf und Stefanie Herzog für diese gemeinsame Zeit.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danke ich für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Teilprojekts Öffentlichkeit des SFB 677.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie, insbesondere bei meinem Ehemann Fabian für sein Verständnis und das Korrekturlesen und meinem Vater, Brigitte und meinem Bruder für die jahrelange Unterstützung von ganzem Herzen danken.



## Zusammenfassung

Neben der Vermittlung von Fachwissen und der Fähigkeit Versuche durchzuführen, spielt in der naturwissenschaftlichen Bildung die authentische Vermittlung von Wissenschaft eine wichtige Rolle. Hierfür stellen Schülerlabore als außerschulische Lernorte mit Nähe zu Forschungseinrichtungen eine geeignete Lernumgebung dar. Schülerlabore werden in der Regel von ganzen Schulklassen einschließlich der Lehrkraft für einen Tag besucht. An diesem Tag führen die Schüler\*innen in kleinen Gruppen naturwissenschaftliche Versuche durch, wobei die Schüler\*innen von Expert\*innen, überwiegend Lehramtsstudierenden, begleitet werden. Dies gilt auch für das Schülerlaborprogramm *klick!* der *Kieler Forschungswerkstatt* an der Christian-Albrechts Universität zu Kiel. Die Versuche im *klick!-labor* wurden mit Bezug zur aktuellen Forschung und in Zusammenarbeit mit Forschenden des Sonderforschungsbereiches (SFB) 677 „Funktion durch Schalten“ entwickelt. Auf diese Weise sollte die heutige Wissenschaft bereits vor Beginn der vorliegenden Dissertation im *klick!-labor* möglichst authentisch dargestellt werden. Eine Förderung der wahrgenommenen Authentizität wurde, basierend auf einer Vorerfassung von Erwartungen und einer Nachbefragung zur Bewertung des Angebots, allerdings nicht wie erwartet erzielt. Daher war es das Ziel dieses Dissertationsvorhabens die Wahrnehmung authentischer Wissenschaft durch weitere Begegnungsmöglichkeiten mit echter Wissenschaft zu fördern und dazu Gestaltungsfaktoren für die Wahrnehmung des Angebotes als authentische Einblicke in Wissenschaft sowie aufbauend für die Verständnisentwicklung bezogen auf Wissenschaft zu untersuchen. Die Ergebnisse sind in fünf Publikationen eingeflossen.

Hierfür wurde zum einen ein neuer Versuch aus dem Bereich der theoretischen Chemie entwickelt, bei welchem die Schüler\*innen mit Hilfe von Molekülsimulationen eine aktuelle Forschungsfrage am Computer beantworten können (Publikation 1). Simulationen wie diese stellen heute neben Experimenten einen weiteren wichtigen Baustein der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung dar, weshalb auch dieser Bereich an Schüler\*innen vermittelt werden sollte.

Zum anderen wurden Videos, ebenfalls in Zusammenarbeit mit Forschenden des SFB 677, als Einblicke in deren aktuelle Forschung konzipiert und in das Schülerlaborprogramm *klick!* integriert.

Im Vorfeld der Videoproduktion wurden sowohl Schüler\*innen als auch Forschende nach deren Einschätzungen bezüglich typischer Tätigkeitsaspekte in der Wissenschaft befragt. Hierfür wurde das von Dierks et al. (2014) adaptierte RIASEC+N Modell verwendet (Publikation 2). Die Ergebnisse dieser Befragung zeigen, dass die Schüler\*innen vor allem die Bedeutung kreativer, ästhetischer und sozialer wissenschaftlichen Aktivitäten unterschätzen. Daraufhin wurden die Videos mit integrierten RIASEC+N Aspekten thematisch passend und als Einstieg in die jeweiligen Versuche geplant und produziert (Publikation 3). Auf diese Weise ist es den Schüler\*innen möglich vor der eigenen Experimentiertätigkeit im Schülerlabor zu erfahren, wie Forschende an diesen Themen mit gleichen oder ähnlichen Materialien arbeiten. Nach der

Produktion der Videos wurden diese in die Stationen des *klick!labors* eingebettet und mittels einer Interview- und *Think-Aloud*-Studie validiert (Publikation 3). Es konnte herausgefunden werden, dass Aspekte aller RIASEC+N Dimensionen von den Schüler\*innen beim Schauen der Videos wahrgenommen werden. Um abschließend die Wirkung der Videos zu messen wurde eine Evaluationsstudie im Kontrollgruppendesign durchgeführt. Hierfür wurden zur Erfassung des Wissenschaftsverständnisses und der wahrgenommenen Authentizität 14 Schulklassen der Klassenstufen 10 bis 13 befragt, wofür zum einen erneut das RIASEC+N Modell und zum anderen eine Dimension von Schmidt et al. (2011) zur wahrgenommenen Authentizität verwendet wurde (Publikation 4). Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl die Wahrnehmung von Authentizität als auch das Wissenschaftsverständnis der Schüler\*innen durch die Videos gefördert werden konnten.



## Abstract

In addition to sharing scientific knowledge and conducting experiments, a key aspect of science education is the authentic mediation of science. Hence, student laboratories in close proximity to research institutes are a suitable learning environment as out-of-school learning environments. Teachers and their classes most often visit student laboratories for one day. On that day the students carry out scientific experiments guided by experts (mostly student teachers) in small groups. This also applies for the student laboratory program *klick!* of the *Kieler Forschungswerkstatt* at Kiel University. The experiments in the *klick!* laboratory were developed in reference to current research and in cooperation with researchers of the collaborative research centre (CRC) 677 “function by switching”. Even before the presented dissertation, the *klick!* laboratory was designed to present current research as authentically as possible. Therefore, the aim of this dissertation project was to promote the perception of authentic science through the use of additional opportunities to experience real science. This was achieved by examining factors influencing the perception as authentic insights into science. The results were presented in five publications.

A new experiment from the field of theoretical chemistry was developed for this purpose, in which the students can answer a current research question by computer with the help of molecule simulations (Publication 1). In addition to experiments, simulations such as these are another important building block in the acquisition of scientific knowledge, which is why this area should also be taught to students.

Moreover, videos, also in cooperation with researchers from the SFB 677, were conceived as insights into their current research and integrated into the *klick!* student laboratory program.

Prior to the video production students as well as scientists were interviewed regarding their assessments of the typical aspects of the work in science. Here, the RIASEC+N model, as adapted by Dierks et al. (2014) was used (Publication 2). The results show that the students particularly underestimate the importance of creative, artistic and social scientific activities. The videos with integrated RIASEC+N aspects, thematically apt and as introduction into the respective experiments, were then planned and produced (Publication 3). Students are thus able to experience how scientists work on these topics with similar or identical materials before starting their own experiments in the student laboratory. After the videos were produced they were embedded into the stations of the *klick!* laboratory and validated through an interview- and think-aloud-study (Publication 3). Students were found to perceive aspects of all RIASEC+N dimensions while watching the videos. An evaluation study in a control group design was conducted to conclusively measure the impact of the videos. Therefore, 14 school classes from grades 10 to 13 were interviewed to assess the understanding of science and the perceived authenticity. For this, the RIASEC+N model was used again on the one hand, and a dimension of Schmidt et al. (2011) on the perceived authenticity on the other (Publication 4). The results show that both the students’ perception of authenticity and their understanding of science could be fostered by the videos.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung und Zielsetzung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Schülerlabore als außerschulische Lernorte .....	4
1.1.1 Die Kieler Forschungswerkstatt (KiFo) .....	8
1.1.2 Schülerlaborprogramme in der KiFo.....	8
1.1.3 Schülerlaborprogramm klick! .....	9
1.2 Übersicht von Forschungsarbeiten in Schülerlaboren .....	11
1.3 Vermittlung von authentischen Wissenschaftsvorstellungen .....	17
1.3.1 Definition und Forschungsstand: Vermittlung eines authentischen Wissenschaftsverständnisses .....	18
1.3.2 Vermittlung von authentischen Wissenschaftsvorstellungen im Schülerlabor .....	20
1.3.3 Authentizität im Schülerlaborprogramm klick! vor Beginn der Promotionsstudie.....	22
1.3.4 Maßnahmen zur Förderung der authentischen Wahrnehmung von Naturwissenschaften im Schülerlaborprogramm klick! .....	24
1.4 Forschungsfragen und Hypothesen der Studien zur Förderung der Authentizität im Schülerlaborprogramm <i>klick!</i> .....	25
1.5 Überblick der geplanten Studie zur Förderung der Authentizität im Schülerlaborprogramm <i>klick!</i> .....	27
<b>Lernumgebung: Schülerlaborprogramm <i>klick!</i>.....</b>	<b>29</b>
2.1 Überarbeitung der Lernumgebung .....	29
2.2 Ablauf eines Laborbesuches.....	30
2.3 Versuchsstationen des <i>klick!</i> labors.....	31
2.3.1 Station 1: Synthese von Goldnanopartikeln .....	33
2.3.2 Station 2: Spiropyran.....	34
2.3.3 Station 3: Alltagsschalter .....	35
2.3.4 Station 4: Computersimulationen.....	37
2.3.5 Station 5: Generierung und Untersuchung von nanostrukturierten, hydrophoben Oberflächen.....	38
2.3.6 Station 6: STM- und AFM-Messungen.....	39
<b>Publikationsbasierte Umsetzung der Ziele dieser Arbeit.....</b>	<b>43</b>
3.1 PUBLIKATION 1 .....	43
Blick in die Zukunft: Computersimulationen ergänzen die Heranführung von Schülerinnen und Schülern an naturwissenschaftliche Arbeitsweisen - CHEMKON	
3.2 PUBLIKATION 2 .....	44
Scientists, Their Work, and how Others Perceive Them: Self-Perceptions of Scientists and Students’ Stereotypes - RESEARCH IN SUBJECT-MATTER TEACHING AND LEARNING	

3.3 PUBLIKATION 3 .....	44
Development & validation of scientific video vignettes to promote perception of authentic science in student laboratories - RESEARCH IN SCIENCE & TECHNOLOGICAL EDUCATION	
3.4 PUBLIKATION 4.....	45
Authentic insights into science: Scientific videos in out-of-school learning environments - INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION	
3.5 PUBLIKATION 5.....	45
Authentisches Lernen im Schülerlabor – Entwicklung und Validierung von Videos zur Förderung der authentischen Wahrnehmung von Naturwissenschaften im Schülerlaborprogramm <i>klick!</i>	
<b>PUBLIKATION 1 - Blick in die Zukunft: Computersimulationen ergänzen die Heranführung von Schülerinnen und Schülern an naturwissenschaftliche Arbeitsweisen .....</b>	<b>47</b>
4.1 Zusammenfassung .....	48
4.2 Einleitung.....	48
4.3 Software für Computersimulationen.....	51
4.3.1 Funktionen und Möglichkeiten von Avogadro.....	51
4.3.2 Funktionen und Möglichkeiten von Maestro/Schrödinger .....	51
4.4 Molekülsimulationen im Schülerlabor .....	52
4.4.1 Fachlicher Hintergrund und didaktische Konzeption.....	52
4.4.2 Einsatz von Computersimulationen.....	55
4.5 Fazit .....	58
<b>PUBLIKATION 2 - Scientists, Their Work, and how Others Perceive Them: Self-Perceptions of Scientists and Students’ Stereotypes.....</b>	<b>61</b>
5.1 Abstract.....	62
5.2 Motivation .....	62
5.3 Theoretical background .....	64
5.4 Project’s objectives.....	65
5.5 Instrument and sample.....	66
5.6 Results .....	67
5.7 Discussion and limitations.....	72
5.8 Conclusion and outlook.....	76
<b>PUBLIKATION 3 - Development &amp; validation of scientific video vignettes to promote perception of authentic science in student laboratories .....</b>	<b>79</b>
6.1 Abstract.....	80
6.2 Introduction .....	80
6.3 Authentic insight into science through videos.....	82

6.4 Framework and aims of this project .....	83
6.5 Principles of the study and results .....	84
6.5.1 Sub-study 1: Typical activities of scientists .....	84
6.5.2 Sub-study 2: Development and validation of videos.....	88
6.6 Overall Conclusion.....	95
6.7 Perspectives .....	95
<b>PUBLIKATION 4 - Authentic Insights into Science: Scientific Videos used in Out-of-school Learning Environments.....</b>	<b>97</b>
7.1 Abstract .....	98
7.2 Introduction .....	98
7.2.1 Scientific stereotypes .....	99
7.2.2 Authentic science .....	100
7.2.3 NOS and NOSI.....	100
7.2.4 Science labs for school students as out-of-school learning environments .....	101
7.2.5 Scientific videos with NOSI aspects .....	101
7.3 Methods .....	102
7.3.1 RIASEC+N model .....	103
7.3.2 Instrument .....	103
7.3.3 Learning Environment.....	105
7.3.4 Experimental stations .....	105
7.3.5 Scientific videos .....	105
7.3.6 Sample.....	106
7.3.7 Experimental design.....	106
7.3.8 Data analysis .....	107
7.4 Results .....	107
7.4.1 Scientific activities .....	107
7.4.2 Authenticity.....	111
7.5 Discussion and Limitations .....	112
7.6 Overall Conclusion.....	114
7.7 Perspectives .....	114
<b>PUBLIKATION 5 - Authentisches Lernen im Schülerlabor – Entwicklung und Validierung von Videos zur Förderung der authentischen Wahrnehmung von Naturwissenschaften im Schülerlaborprogramm <i>klick!</i> .....</b>	<b>117</b>
8.1 Einführung – Motivation .....	118
8.2 Forschungsfragen .....	118

8.3 Vorarbeiten .....	119
8.3.1 Fragebogenentwicklung .....	119
Zusammen-arbeitend .....	120
8.3.2 Videoplanung & -entwicklung .....	121
8.4 Schülerlaborprogramm .....	122
8.5 Wirksamkeit der Videos im Schülerlabor.....	122
8.6 Zusammenfassende Diskussion & Fazit .....	123
<b>Weitere untersuchte Variablen im <i>klick!:</i>labor .....</b>	<b>125</b>
9.1 Einleitung.....	125
9.2 Forschungsfragen und Hypothesen.....	126
9.3 Methode .....	127
9.4 Ergebnisse.....	129
9.5 Diskussion .....	131
9.6 Fazit und Ausblick.....	133
<b>Diskussion, Fazit und Ausblick .....</b>	<b>135</b>
10.1 Zusammenfassende Diskussion, Limitationen und Implikationen .....	135
10.1.1 Zusammenfassende Diskussion & Limitationen .....	135
10.1.2 Theoretische und praktische Implikationen.....	138
10.2 Fazit der Arbeit.....	140
10.3 Ausblick.....	142
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>146</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>159</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>161</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>165</b>

# Kapitel 1

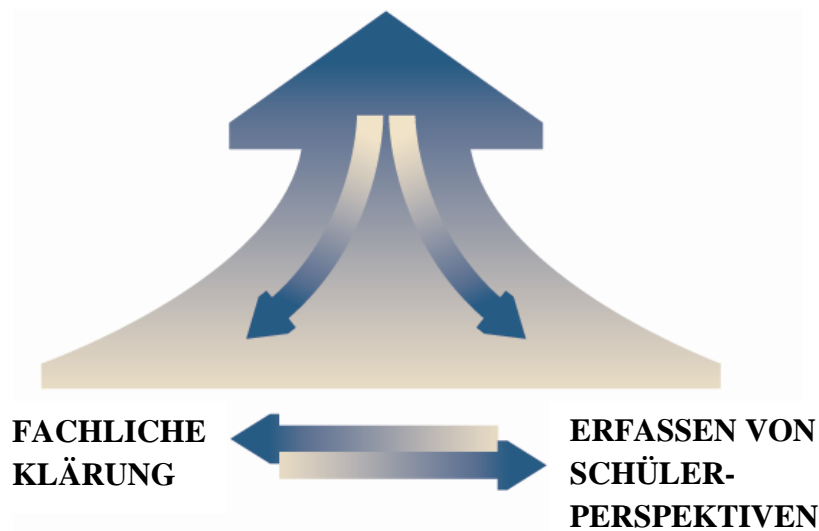
---

## Einleitung und Zielsetzung

Die Naturwissenschaften, insbesondere die naturwissenschaftliche Forschung und Bildung, sind durch gesellschaftsrelevante Themen wie beispielsweise die Auswirkungen des Klimawandels und der globalen Verschmutzung von großer Bedeutung für die Öffentlichkeit. Aufgrund dessen fördert die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) seit 2006 vermehrt den Dialog zwischen den Wissenschaftler\*innen mit der Gesellschaft und die von der DFG vor über 50 Jahren ins Leben gerufenen Sonderforschungsbereiche (SFB) sind dazu aufgefordert ihre Forschungsarbeiten und Ergebnisse einem breiten Publikum zu präsentieren.

Im letzten Jahr gab es 283 laufende SFB Programme bei denen die Teilprojekte für Öffentlichkeitsarbeit (TPÖ) dazu dienten die Sichtbarkeit der Forschung zu gewährleisten und Einblicke in den Arbeitsalltag von Forschenden zu geben (DFG Jahresbericht, 2018; DFG, 2008). Aus diesem Grund wurde im Jahr 2011 für die Öffentlichkeitsarbeit des SFB 677 „Funktion durch Schalten“ das Schülerlaborprogramm *klick!* (*klick!:*labor) konzipiert und in der *Kieler Forschungswerkstatt* implementiert. Im *klick!:*labor wird es Schüler\*innen der Sekundarstufe II seither ermöglicht Versuche mit Bezug zur aktuellen Forschung des SFB 677 durchzuführen und in die Welt der Wissenschaftler\*innen Einblick zu erhalten (Schwarzer, Rudnik & Parchmann, 2013). Auf diese Weise können nach dem Modell der didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997; Abb. 1.1) an außerschulischen Lernorten, wie dem *klick!:*labor, authentische Wissenschaft didaktisch strukturiert vermittelt und Schülerperspektiven erfasst werden. Diese Förderung des Wissenschaftsverständnisses der Schüler\*innen stellt einen wichtigen Beitrag zur naturwissenschaftlichen Grundbildung dar, welcher durch den alleinigen regulären Unterricht in der Schule nicht zufriedenstellend eingelöst wird (Guderian, 2007).

## DIDAKTISCHE STRUKTURIERUNG



**Abb. 1.1** | Modell der didaktischen Rekonstruktion nach Kattmann et al. (1997).

Aus didaktischer bzw. bildungsbezogener Perspektive fassten Driver, Leach, Millar und Scott (1996) die aus ihrer Sicht fünf wichtigsten Gründe dafür zusammen, warum ein Wissenschaftsverständnis für die Gesellschaft relevant ist. Einer dieser fünf Gründe ist das demokratische Argument, welches auf die oben beschriebenen Themen bezogen werden kann. Es beinhaltet, dass jede Person Naturwissenschaften soweit verstehen sollte, um Entscheidungen treffen sowie an Diskussionen und Debatten teilnehmen zu können. Driver et al. (1996) begründen dies damit, dass viele wichtige Themen auf Naturwissenschaften und Technik basieren. Die vier weiteren Gründe von Driver et al. (1996) für ein Wissenschaftsverständnis sind das ökonomische Argument, welches auch für die DFG von Bedeutung ist, das besagt, dass es zukünftig ausreichend qualifizierte Naturwissenschaftler\*innen geben sollte; das utilitaristische Argument – jeder benötige ein gewisses Grundverständnis um mit den alltäglichen Technologien umgehen zu können; das kulturelle Argument – Naturwissenschaften als kulturelle Bereicherung, die jeder schätzen sollte; sowie das moralische Argument – die Naturwissenschaften verkörpern Normen und Verpflichtungen, die von großem Wert sind, wie beispielsweise das einführend genannte umweltbewusste Handeln.

Trotz der hinterlegten großen Bedeutung eines Wissenschaftsverständnisses existieren viele unvollständige und teilweise verzerrte stereotypische Vorstellungen über naturwissenschaftlich Forschende und deren Arbeit (Solomon et al., 1994; Tintori & Palomba, 2017), da die Naturwissenschaften nicht in jeder öffentlichen Darstellung, wie beispielsweise im Film oder Fernsehen, in vollständiger



Komplexität dargestellt werden können. Solche Stereotypen werden von den Schüler\*innen bei genauem Nachfragen als nicht absolut wahrheitsgemäß eingeschätzt (Solomon et al., 1994; Höttecke, 2004; Höttecke & Hopf, 2018). Wie ein authentisches Bild von Naturwissenschaftler\*innen und deren Arbeit allerdings tatsächlich aussieht, ist den Schüler\*innen nur teilweise bekannt. In der Studie von Barman (1999) waren 71% der 620 Schüler\*innen (Klassen 6 bis 8) der Meinung, dass der typische Forschende im Labor arbeitet, 75% waren der Meinung, dass in diesem Berufsfeld ausschließlich Männer tätig sind und 84% schätzten das typische Laborequipment als notwendig ein. Neue Technologien wurden dagegen nur von 20% der Schüler\*innen als relevant eingeschätzt. Diese Einschätzungen werden durch das von Höttecke (2004, S. 264) beschriebene, immer wiederkehrende Bild eines naturwissenschaftlich Forschenden bestätigt:

„Der typische Naturwissenschaftler ist ein Mann in einem weißen Kittel. Er trägt einen Bart oder wirkt unrasiert, ist ungekämmt und ist von Laborinstrumenten umgeben, mit denen er den ganzen Tag im Labor hantiert. Er hat keine Zeit und weiß nichts vom Rest der Welt. Er ist zwar intelligent und geheimniskrämerisch, seine Arbeit kann aber sehr gefährlich sein.“

Die meisten dieser Einschätzungen sind nicht grundsätzlich falsch, denn viele Naturwissenschaftler\*innen arbeiten häufig im Labor, allerdings nicht ausschließlich, und es gibt in den Naturwissenschaften nicht nur männliche Forschende, wenn auch in vielen Bereichen überwiegend: Im SFB 677 waren zuletzt etwa 30% der Mitarbeitenden weiblich. Ebenso sind Technologien und moderne Arbeitsmittel wie Computer für viele Naturwissenschaftler\*innen ein fester Bestandteil ihrer Arbeit. Auch werden naturwissenschaftlich Forschende häufig als sozial isoliert beschrieben (Tintori & Palomba, 2017), steht auch dies im Widerspruch zu den tatsächlichen, sozialen Aufgaben eines Forschenden, wie das Durchführen von Seminaren oder die Betreuung von Studierenden.

Die tatsächliche Vielfalt der naturwissenschaftlichen Forschung wird durch die etablierten Konstrukte „Nature of Science“ (NOS) und „Nature of Scientific Inquiry“ (NOSI) charakterisiert, wobei die NOS-Aspekte die „products of inquiry“ und die NOSI die „processes of inquiry“ umfassen (McComas & Olson, 1998; Osborne et al., 2003; Lederman, 2006; Schwarz et al., 2008 (S. 3); Neumann & Kremer, 2013). Beide Konstrukte beschreiben eine Vielzahl unterschiedlicher Aspekte, unter anderem bezüglich der Kreativität, der sozialen Eingebundenheit, der empirischen Evidenz und der Globalität naturwissenschaftlicher Forschung. Die genannten Aspekte sprechen für ein komplexeres naturwissenschaftliches Bild als es durch die Stereotypen beschrieben wird. Für eine Weiterentwicklung besteht nach wie vor ein dringender Forschungs- und Handlungsbedarf.

Vor diesem Hintergrund war es das Ziel dieser Arbeit, ein authentisches Wissenschaftsverständnis der Schüler\*innen durch Einblicke in die Forschung zu fördern. Bevor jedoch auf die Umsetzung zum Erreichen des genannten Zieles eingegangen wird, soll auf die drei in dieser Arbeit verwendeten Zusammenhänge, in

denen der Begriff Authentizität verwendet wird, eingegangen werden. Eine detaillierte Beschreibung dazu erfolgt im Kapitel 1.3.

Der Begriff *authentische Wissenschaft* wird in dieser Arbeit für ein umfassendes Bild realitätsnaher, universitärer Naturwissenschaften verwendet. Dieses umfasst die oben genannten vielfältigen Tätigkeiten in der Wissenschaft, welche beispielsweise durch das NOSI Konstrukt beschrieben werden. Zur besseren Erfassung und Vermittlung der wissenschaftlichen Tätigkeiten wurden diese in der vorliegenden Promotionsstudie mit dem RIASEC+N-Modell<sup>1</sup>, adaptiert nach Holland (1997), kategorisiert.

Der zweite Zusammenhang, in dem der Begriff Authentizität verwendet wird, ist die *Vermittlung eines authentischen Wissenschaftsverständnisses* beziehungsweise von *authentischen Wissenschaftsvorstellungen* durch die Konzeption einer *authentischen Lernumgebung*. Dies soll durch Einblicke in authentische Wissenschaft erfolgen. Hierfür eignen sich nach Pea (1994) der Kontakt von Schüler\*innen zu Forschenden. Da der regelmäßige persönliche Kontakt zu Forschenden aus zeitlichen Gründen seitens der Forschenden, insbesondere der Professoren, nicht realisierbar war, wurden Videos in Zusammenarbeit mit den Forschenden über deren Arbeitsalltag entwickelt. Die vielfältigen, in das RIASEC+N-Modell kategorisierten wissenschaftlichen Aspekte wurden hierfür in die Videos integriert.

Der dritte Authentizitätsaspekt ist die damit angestrebte *Förderung der authentischen Wahrnehmung von Wissenschaft*. Dazu wurden Varianten der Lernumgebung – hands on Experimente mit vs. ohne ergänzende Videos – mit Hilfe verschiedener Designs und Instrumentarien qualitativ und quantitativ untersucht.

Als Rahmung für die Weiterentwicklung und Untersuchung einer authentischen Lernumgebung wurde das Schülerlaborprogramm *klick!* der *Kieler Forschungswerkstatt (KiFo)* als außerschulischer Lernort gewählt. In den folgenden Kapiteln wird zunächst allgemein auf Schülerlabore als authentische Lernorte und anschließend speziell auf die *KiFo* und das *klick!-labor* eingegangen.

## 1.1 Schülerlabore als außerschulische Lernorte

Zur Vermittlung eines authentischen Wissenschaftsverständnisses eignen sich Einblicke in „echte“ naturwissenschaftliche Forschung. Hierfür sind Besuche von Schülerlaboren zum Beispiel zur Wissenschaftskommunikation, welche eine Anbindung zu Forschungseinrichtungen haben, besonders geeignet. Im Allgemeinen zählen Schülerlabore, ebenso wie beispielsweise Zoos und Museen, zu den

---

<sup>1</sup> Bei diesem Modell entspricht jeder Buchstabe des Akronymes RIASEC+N einem Tätigkeitsbereich der Wissenschaftler\*innen. Hierdurch werden viele unterschiedliche Aspekte der Wissenschaft, wie investigative, experimentelle, aber auch kreative, soziale und unternehmerische Tätigkeiten abgedeckt, weshalb sich das genannte Modell für diese Studie als geeignet erwies.

außerschulischen Lernangeboten, welche von Schulklassen im Rahmen von extracurricularen Aktivitäten besucht werden können. Die Angebote der Schülerlabore werden in Deutschland mit etwa 700.000 Besucher\*innen sehr gut angenommen und gewannen zunehmend an Beliebtheit (Haupt, 2015). Dadurch ist die Anzahl an Standorten (Abb. 1.2), an denen Schülerlaborprogramme angeboten werden, auf nun mehr als 380 angestiegen (www.schuelerlabor-atlas.de, Stand: 07.2019). Durch die anhaltend hohen Besucherzahlen resultieren allerdings oftmals lange Wartezeiten für die Besuchstermine der interessierten Schulklassen.

Da durch das Engagement einzelner Akteure in den letzten 20 Jahren viele Schülerlabore unabhängig voneinander entstanden sind, fassten Haupt et al. (2013) zur Begriffsschärfung der Schülerlabore die technischen Voraussetzungen, welche von den Schülerlaboren erfüllt werden, wie folgt zusammen:

- Das Experimentieren findet in authentischen Laboren oder Räumen mit einer deutlich besseren Ausstattung als in Schulen und mit ausreichend großer Anzahl an Arbeitsplätzen statt.
- Das Schülerlabor wird an mindestens 20 Tagen im Jahr (entspricht etwa 10% eines Vollbetriebs) betrieben, wodurch einmalige Ereignisse, wie Ferienkurse, ausgeschlossen werden.
- Bei einem Besuch im Schülerlabor findet schwerpunktmäßig das eigene Experimentieren – Forschen – Ausprobieren der Schüler\*innen statt.

Bei letzterem führen die Schüler\*innen weitestgehend selbstständig Experimente durch, welche von einer ausreichend hohen Betreuungsrelation durch Fachkräfte, wie beispielsweise Lehramtsstudierende, begleitet wird. In welchem Maße jedoch tatsächlich ein offenes (inquiry-based learning) oder ein doch eher angeleitetes (guided inquiry) Experimentieren stattfindet, hängt davon ab, ob die Fragestellungen, die Methodenwahl und die Interpretation der Ergebnisse durch die Lehrpersonen oder die Schüler\*innen erfolgen. Bei den Schülerlaborprogrammen, welche von ganzen Schulklassen für einen Tag besucht werden, findet häufig, trotz des angestrebten forschenden Experimentierens, ein eher strukturierter und von den Fachkräften angeleiteter Lernprozess statt (Schwarzer & Parchmann, 2018). Das wirklich offene Experimentieren und Forschen erfolgt dagegen in den Schülerforschungszentren, welche von interessierten Schüler\*innen in deren Freizeit besucht werden. Hier können die Schüler\*innen an eigenen Forschungsprojekten arbeiten, wobei die zur Verfügung stehende Zeit nicht auf einen Tag beschränkt ist:

([https://schuelerforschungszentren.de/fileadmin/Redaktion/Tagungen/2019\\_Erlangen/Vortrag\\_Helmut\\_Ruf\\_4.\\_Fachtagung\\_SFZ.pdf](https://schuelerforschungszentren.de/fileadmin/Redaktion/Tagungen/2019_Erlangen/Vortrag_Helmut_Ruf_4._Fachtagung_SFZ.pdf) Stand:17.06.2019).

Durch das möglichst forschungsnahe Experimentieren der Schüler\*innen in den Schülerlaboren sollen die folgenden übergeordneten Ziele angestrebt werden (Engeln & Euler, 2004; Engeln, 2004; Euler, 2005 und Pawek, 2009):

- Die Förderung des Interesses und der Aufgeschlossenheit gegenüber Wissenschaft, insbesondere in MINT-Bereichen
- Die Vermittlung eines zeitgemäßen und authentischen Bildes von Wissenschaft und ihrer Bedeutung für die Gesellschaft
- Die Ermöglichung von Einblicken in die Berufe und Tätigkeitsfelder von Forschenden
- Die Förderung von Dialogen und Diskussionen über aktuelle wissenschaftliche Themen, wie zum Beispiel den globalen Klimawandel und Möglichkeiten, diesem entgegen zu wirken



**Abb. 1.2** | Übersicht von Standorten, an denen Schülerlaborprogramme für Schulklassen angeboten werden (www.schuelerlabor-atlas.de, Stand: 07.2019).

Trotz der gemeinsamen Kriterien und Ziele der Schülerlabore unterscheiden sich deren Programme in ihren schwerpunktmäßigen Zielsetzungen voneinander. Auf Grund dessen formulierten Haupt et al. (2013) sechs unterschiedliche Lernort Labor Kategorien von Schülerlaboren, welche zu den aktuell folgenden acht Kategorien erweitert wurden (Heß, 2018; <https://www.lernortlabor.de/schuelerlabore.html>; Stand: 24.07.2019):

- Schülerlabor<sup>K</sup>: Das *klassische Schülerlabor* wird von ganzen Klassen oder Kursen im Rahmen schulischer Veranstaltungen besucht, wobei das angebotene Programm eng mit dem Inhalt des Lehrplans verknüpft ist.
- Schülerlabor<sup>L</sup>: Das Besondere an *Lehr-Lern-Laboren* ist, dass diese zur fachdidaktischen Ausbildung von Lehramtsstudierenden dienen, denen dort die

Möglichkeit geboten wird, experimentelle Fertigkeiten sowie das Betreuen von Schüler\*innen zu erproben.

- Schülerlabor<sup>W</sup>: Das *Schülerlabor zur Wissenskommunikation* befindet sich häufig an großen Forschungsinstituten und dient dazu, den Schülerinnen und Schülern einen Einblick in die Forschung zu geben.
- Schülerlabor<sup>U</sup>: Das *Schülerlabor mit Bezug zum Unternehmertum* befindet sich an forschungsintensiven Unternehmen. Den Schüler\*innen wird dort ein Einblick in die Betriebsprozesse „von der Idee bis zum fertigen Produkt“ gegeben.

In den beiden zuletzt genannten Schülerlaborkategorien werden häufig naturwissenschaftliche Berufe, ergänzend zu den Einblicken in die Forschung oder die Unternehmen, vorgestellt. Diese Schülerlabore zählen damit zur folgenden Kategorie:

- Schülerlabor<sup>B</sup>: Die *Schülerlabore mit Berufsorientierung* haben es sich zur Aufgabe gemacht, den Schülerinnen und Schülern naturwissenschaftliche Berufe vorzustellen und detaillierte Einblicke in Berufe zu geben.

Die bisher genannten Schülerlabore werden überwiegend von ganzen Schulklassen im Rahmen schulischer Veranstaltungen besucht. Dies gilt nicht für die sechste Kategorie von Haupt et al. (2013):

- Schülerlabor<sup>F</sup>: Die *Schülerforschungszentren* werden, im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Schülerlaboren, von einzelnen Schüler\*innen oder Schülergruppen unabhängig von der Schule besucht. Diese Schüler\*innen sind überwiegend besonders an Naturwissenschaften interessiert und haben in den Schülerforschungszentren die Möglichkeit, an ihren eigenen kleinen Forschungsprojekten zu arbeiten.

Die beiden folgenden Kategorien, das *Schülerlabor zum Engineering/Entwicklung und Produktion* und das *geisteswissenschaftlichen Schülerlabor*, wurden zusätzlich zu den sechs von Haupt et al. (2013, S. 6 - 9) formulierten Kategorien ergänzt.

- Schülerlabor<sup>E</sup>: Bei den *Schülerlaboren zum Engineering/Entwicklung und Produktion* steht ähnlich wie bei den *Schülerforschungszentren* das eigenständige Arbeiten im Vordergrund. Diese werden allerdings nicht nur von Schüler\*innen sondern unter anderem auch von handwerklich interessierten Eltern und Senior\*innen besucht (<https://www.lernortlabor.de/schuelerlabore.html>; Stand: 24.07.2019).
- Schülerlabor<sup>G</sup>: In dem *geisteswissenschaftlichen Schülerlabor* werden Themen aus der Geschichte und Gesellschaft behandelt, wobei die Schüler\*innen Phänomene, die sich aus dem Wirken des Menschen als handelndes Wesen ergeben, betrachten (Heß, 2018).

An vielen Standorten wird häufig mehr als ein Schülerlaborprogramm angeboten. Oftmals lassen sich diese angebotenen Programme auch unterschiedlichen Kategorien zuordnen, wodurch an einem Standort mehrere Schwerpunkte abgedeckt werden. Dies gilt auch für die *KiFo*, welche im folgenden Unterkapitel 1.1.1 vorgestellt wird.

### 1.1.1 Die Kieler Forschungswerkstatt (KiFo)

Die *Kieler Forschungswerkstatt (KiFo)*; Abb. 1.3) wurde im Jahr 2012 gegründet. Die *KiFo* ist eine gemeinsame Einrichtung des IPN und der Christian-Albrechts Universität zu Kiel (CAU). Hierdurch wird sowohl die Anbindung zur Didaktik als auch zur aktuellen Fachforschung gewährleistet, wodurch ideale Bedingungen für einen authentischen Lernort für Lernende und Lehrende bestehen. Diese Bedingungen sind vor allem für Schüler\*innen nahezu ideal, um Einblicke in didaktisch aufgearbeitete, aber dennoch authentische und aktuelle Wissenschaft zu ermöglichen.

Vor diesem Hintergrund werden durch die *KiFo* die folgenden Ziele angestrebt: die Wissenschaftskommunikation, die Interessen- und Talentförderung durch Schülerforschung, die Lehreraus- und -fortbildung sowie das Anbieten von Programmen für die breite Öffentlichkeit.



**Abb. 1.3|** Das Logo der *KiFo* (oben) und ein Foto des Eingangsgebäudes der *KiFo* (unten)

### 1.1.2 Schülerlaborprogramme in der KiFo

Insgesamt können die Schüler\*innen in der *KiFo* neun unterschiedliche Laborangebote besuchen. Zu den MINT-Angeboten gehören das *ocean:labor*, das *energie:labor*, das *klick!:labor*, das *geo:labor*, das *life:labor* und ein Schülerforschungszentrum. Durch das *reli:labor* und das *zeit:werk* werden die Geisteswissenschaften und durch das *sprach:werk* die Sprachwissenschaften abgedeckt. Genauer beschrieben können sich die Schüler\*innen in den unterschiedlichen Angeboten mit den folgenden Themen in der *KiFo* auseinandersetzen:

- Im *ocean:labor* mit aktuellen Themen der Meeresforschung

- Im *energie:labor* mit Fragestellungen aus dem Alltag rund um das Thema Energie, insbesondere wird hierbei auf das Energiekonzept eingegangen
- Im *klick!::labor* mit aktueller Forschung aus den Themenbereichen Nanotechnologie und chemischen Schalter
- Im *geo:labor* mit Fragestellungen zu den Themen Boden, Nutzpflanzen, Klimazonen und Standortanpassungen von Pflanzen
- Im *life:labor* mit Themen aus der humanmedizinischen und biologischen Forschung
- Im Schülerforschungszentrum mit eigenen Projekten beliebiger MINT-Themen
- Im *reli:labor* mit Fragestellungen rund um das Thema Religion, wobei im Vorfeld aus den Angeboten Vertrauen, Freiheit, Gerechtigkeit oder Verantwortung gewählt wird
- Im *sprach:werk* mit sprachlichen Formen und deren Funktionen sowie dem sozialen Gebrauch von Sprache(n)
- Im *zeit:werk* mit historisch-politischen Themen

### *1.1.3 Schülerlaborprogramm klick!*

Eines der neun Schülerlaborprogramme der *KiFo* ist das nanotechnologische *klick!::labor*. Im Rahmen dieses Programmes wurde die vorgestellte Promotionsstudie durchgeführt. Eine detaillierte Darstellung des *klick!::labors* erfolgt in Kapitel 2, weshalb an dieser Stelle nur kurz auf die theoretische Einordnung und den naturwissenschaftlichen Hintergrund des Programms eingegangen werden soll.

Nach der Kategorisierung von Haupt et al. (2013) gehört das *klick!::labor* zu den beiden Kategorien *Schülerlabor zur Wissenskommunikation* und *Schülerlabor mit Berufsorientierung*. Diesbezüglich soll den Schüler\*innen zum einen ein Einblick in die Wissenschaft des Sonderforschungsbereiches (SFB) 677 „Funktion durch Schalten“ und zum anderen in die Berufswelt der Forschenden ermöglicht werden.

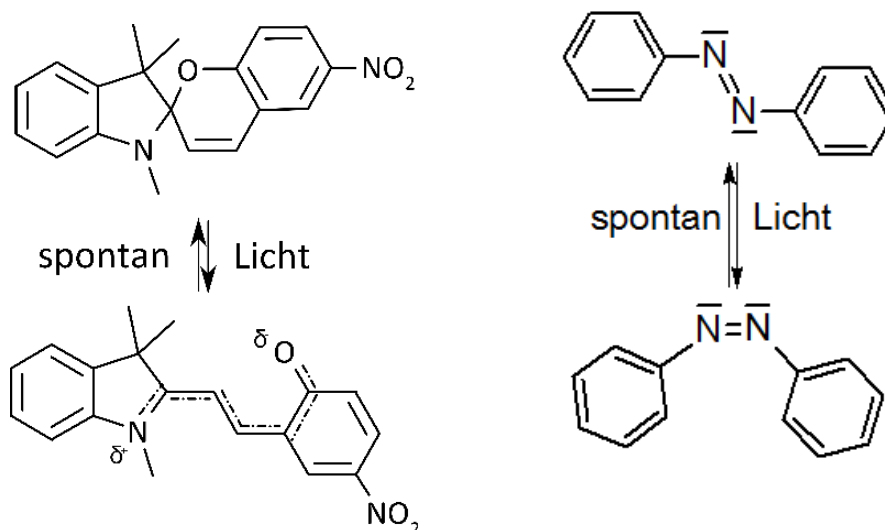
#### *Naturwissenschaftlicher Hintergrund des klick!::labors - SFB 677*

Das Laborprogramm *klick!* wurde in Zusammenarbeit mit Forschenden des SFB 677 (Abb. 1.4) entwickelt. Bei den Forschenden des SFB 677 handelt es sich um Wissenschaftler\*innen aus unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Bereichen wie der Chemie, Physik, Materialwissenschaften und der Pharmazie, welche sich mit Nanowissenschaften, insbesondere mit sogenannten schaltbaren Molekülen, beschäftigen.



**Abb. 1.4** | Forschende des Sonderforschungsbereiches (SFB) 677.

Bei den chemischen Schaltermolekülen handelt es sich um Moleküle, welche auf externe Reize wie Licht, Druck und Wärme reagieren. Durch die externen Reize wird eine bestimmte Energiemenge übertragen. Dies hat eine Strukturänderung der Moleküle zur Folge. Durch die Strukturänderungen verändern sich wiederum auch die Eigenschaften, wie beispielsweise die Farbe der Moleküle. Das Besondere an den chemischen Schaltermolekülen ist jedoch, dass diese strukturellen Änderungen reversibel, also umkehrbar, sind. Das bedeutet, dass das Molekül bei Entfernen des externen Reizes wieder seine ursprüngliche Struktur und damit auch seine ursprünglichen Eigenschaften annimmt. Zwei von SFB 677 Forschenden viel beforschte schaltbare Moleküle sind zum einen das Spiropyran in Abb. 1.5 (links) und das Azobenzol in Abb. 1.5 (rechts).



**Abb. 1.5** | Darstellung schaltbarer Moleküle: Spiropyran (links oben) bzw. Merocyanin (links unten) und trans- (rechts oben) beziehungsweise cis-Azobenzol (rechts unten).

Das Spiropyran reagiert sowohl auf Licht (UV-Licht), als auch auf Druck und Wärme. Wenn das Spiropyran einem dieser Reize ausgesetzt wird, findet, wie in



Abb. 1.5 (links) dargestellt, ein Bindungsbruch statt, wodurch das Merocyanin (Abb. 1.5 links unten) entsteht. Das Azobenzol dagegen wechselt bei UV-Licht einer Wellenlänge von 320 nm von seiner energetisch stabileren *trans*-Konfiguration (Abb. 1.5 rechts oben) zur *cis*-Konfiguration (Abb. 1.5 rechts unten). Bei Entfernen der Energiequellen wechseln sowohl das *cis*-Azobenzol als auch das Merocyanin spontan zurück zu ihrer Ausgangsstruktur. Durch die Strukturänderungen der beiden Moleküle ändert sich auch deren Farbe. Diese Eigenschaft der beiden Moleküle findet bei zwei der sechs Versuchsstationen des *klick!*labors, welche in Kapitel 2 vorgestellt werden, Anwendung (siehe Kapitel 2: Station 2 „Spiropyran“ und Station 3 „Alltagsschalter“).

## 1.2 Übersicht von Forschungsarbeiten in Schülerlaboren

Zur Überprüfung, ob die in Kapitel 1.1 genannten Ziele der Schülerlabore durch die Programme erreicht werden konnten, wurden diese seit nunmehr 15 Jahren empirisch untersucht und sehr unterschiedlich evaluiert. Untersucht wurde, wie in Tabelle 1 dargestellt wird, vor allem aus der Anlage der Schülerlabore heraus die Interessenentwicklung (Engeln, 2004; Guderian et al., 2006; Glowinski, 2007; Brandt et al., 2008; Pawek, 2009; Zehren, 2009; Mokhonko et al., 2014; Budke, 2019), der Wissenserwerb (Scharfenberg, 2005; Glowinski, 2007), die Motivation (Brandt, 2005; Zehren, 2009; Schwarzer & Parchmann, 2015), das Fähigkeitsselbstkonzept (Engeln, 2004; Brandt, 2005; Brandt et al., 2008; Pawek, 2009; Zehren, 2009; Nickolaus, Mokhonko & Windaus, 2012; Weßnigk, 2013; Mokhonko et al., 2014; Budke, 2019), sowie die Einbindung in den Unterricht (Guderian, 2007; Glowinski, 2007). In Tab. 1.1 wird eine Übersicht über bisherige Dissertationen und in Tab. 1.2 ausgewählte Arbeiten zur Schülerlaborforschung vorgestellt. Hierbei werden der Ablauf der einzelnen Studien, die Schwerpunkte der Untersuchungen und die Ergebnisse zusammenfassend dargestellt.

**Tab. 1.1** | Übersicht bisheriger Dissertationen zur Untersuchung der Wirksamkeit von Schülerlaboren (<https://www.lernortlabor.de/literatur.html> Stand: 13.06.2019; Budke, 2019). Die Studien der unterstrichenen Autor\*innen werden in Tabelle 2 detaillierter beschrieben.

Autor	Jahr	Fokus der Untersuchungen
<u>Engeln</u>	2004	<i>Interesse an Naturwissenschaften, Selbstkonzept &amp; laborbezogene Komponenten in vier Schülerlaboren</i>
<u>Brandt</u>	2005	<i>Motivation, Interesse &amp; Selbstkonzept</i>
Scharfenberg	2005	<i>Akzeptanz, Wissenserwerb, Interesse an unterschiedlichen Lernorten</i>
<u>Glowinski</u>	2007	<i>Interesse, Unterrichtseinbindung, Fähigkeitsselbstkonzept, Geschlechterunterschiede, Instruktionsqualität, Wissenserwerb &amp; Einblick in die Forschung</i>

<u>Guderian</u>	2007	<i>Interesse, Unterrichtseinbindung &amp; Geschlechterunterschiede bei mehrmaligen Besuchen im Schülerlabor</i>
Wegner	2008	<i>Interesse, Freude, Frustration &amp; Langeweile zur Förderung begabter Schüler*innen</i>
<u>Pawek</u>	2009	<i>Interesse, Fähigkeitsselbstkonzept &amp; laborbezogene Variablen</i>
Zehren	2009	<i>Motivation, Interesse &amp; laborbezogene Komponenten bei Schulkassen mit unterschiedlichen Profilen</i>
Damerau	2012	<i>Experimentierkompetenz, experimentbezogene Selbstwirksamkeitserwartung, Interesse, Fähigkeitsselbstkonzept &amp; Wissenserwerb durch das Laborprogramm BeLL Bio</i>
Plasa	2013	<i>Wahrnehmung der Experimentierumgebung (Schülerlabor &amp; Schülerforschungszentrum)</i>
<u>Weßnigk</u>	2013	<i>Image der Naturwissenschaften, Fähigkeitsselbstkonzept &amp; Berufsorientierung durch Einblicke in Industrieunternehmen</i>
Itzek-Greulich	2015	<i>Einfluss einer Vor- und Nachbereitung auf die Lernleistung und des Lernorten auf das Interesse</i>
Huwer	2015	<i>Wissenserwerb &amp; Motivation (Erfolgswahrscheinlichkeit, Misserfolgsbefürchtung, Interesse &amp; Herausforderung)</i>
Streller	2015	<i>Einfluss einer Vor- und Nachbereitung auf das Interesse, die Lernumgebung und das Fähigkeitsselbstkonzept</i>
Rodenhauser	2016	<i>Kognitive &amp; affektive Wirksamkeit bilingualer Schülerlabore</i>
<u>Budke</u>	2019	<i>Einfluss des Lernortes auf das Interesse, die Motivation, das Selbstkonzept und die Wissenschaftskommunikation</i>

**Tab. 1.2** | Überblick ausgewählter quantitativer Evaluationsstudien in Schülerlaboren, die für die vorgestellte Studie von Bedeutung sind.

Engeln (2004): Schülerlabors: authentische aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken.

#### Kurzbeschreibung der Studie

Schwerpunkt dieser Studie war die Förderung des Interesses durch den Besuch eines der folgenden vier Schülerlabore: DLR-School-Lab in Göttingen, Quantensprung in Geesthacht und physik.begreifen@desy.de in Hamburg (zwei Angebote), teutolab-Chemie in Bielefeld.

Bei der Studie nahmen je Schülerlaborprogramm drei Schulklassen und insgesamt 265 Schüler\*innen der 9. und 10. Klassenstufe teil. Die Befragungen fanden ohne Kontrollgruppe direkt nach dem Laborbesuch und etwa zwölf Wochen im Anschluss statt.

#### Ausgewählte Variablen & Ergebnisse

---

Aktuelles Interesse (epistemisch, emotional & wertbezogen): Insgesamt hohe Einschätzungen, Absinken der epistemischen und emotionalen Komponente und signifikanter Anstieg der wertbezogenen Komponente zwischen den Messzeitpunkten;

Sachinteresse & Herausforderung: Einfluss auf alle drei Komponenten des aktuellen Interesses;

Offenheit & Verständlichkeit: Einfluss auf die emotionale Komponente;

Authentizität: Einfluss auf die wertbezogene Komponente des aktuellen Interesses;

Geschlechterunterschiede: Es wurden keine Unterschiede festgestellt

Brandt (2005): *Förderung von Motivation und Interesse durch außerschulische Experimentierlabors;*

Brandt et al. (2008): *Was bewirken außerschulische Experimentierlabors?*

---

#### Kurzbeschreibung der Studie

Eine Prä-/Post-/Follow-up-Studie zur Untersuchung der Wirkungen des Schülerlabors teutolab-Chemie in Bielefeld. An allen drei Befragungen nahmen insgesamt 494 Schüler\*innen aller Schulformen der Klassenstufe 7 und 8 teil. 222 Schüler\*innen gehörten der Experimentalgruppe an, die das Schülerlabor eine Woche nach der Prä-Befragung besuchten. 272 Schüler\*innen gehörten der Kontrollgruppe an, die das Schülerlabor erst vier Monate später, nach der Follow-up-Befragung, besuchte.

---

#### Ausgewählte Variablen & Ergebnisse

Intrinsische Motivation: Kurzfristige positive Effekte;

Sachinteresse: Keine Effekte und Abnahme bei der Kontrollgruppe;

Berufsinteresse: Positive Effekte, Effektstärken fallen mit der Zeit ab;

Selbstkonzept: Kurzfristige positive Effekte

Guderian (2007): *Wirksamkeitsanalyse außerschulischer Lernorte: Der Einfluss mehrmaliger Besuche eines Schülerlabors auf die Entwicklung des Interesses an Physik.*

---

#### Kurzbeschreibung der Studie

In dieser Studie beschäftigten sich Schüler\*innen im Schülerlabor UniLab in Berlin-Adlershof mit dem Gebiet der klassischen Optik. Das Schülerlabor wurde von den Schüler\*innen dreimal in einem Abstand von jeweils fünf bis sechs Wochen besucht. Es wurden 46 Schülerinnen der 5. Klasse, 37 Schüler\*innen der 8. Klasse mit Einbindung in den Unterricht und 10 Schüler\*innen ohne Einbindung in den Unterricht befragt. Das aktuelle Interesse wurde sechsmal, jeweils direkt nach den Besuchen und fünf bis sechs Wochen im Anschluss, erhoben. Das Sachinteresse wurde zweimal erhoben, direkt vor allen drei Schülerlaborbesuchen und nach allen drei Besuchen.

---

Ausgewählte Variablen & Ergebnisse
<p><u>Sachinteresse</u>: Keine Änderung bei allen drei Gruppen;</p> <p><u>Aktuelles Interesse</u>: Insgesamt bei den Schüler*innen der 5. Klasse höher als bei den Schüler*innen der 8. Klasse; Steigt nach dem ersten Besuch und sinkt wieder nach 5-6 Wochen. Nach den dreimaligen Besuchen konnte das aktuelle Interesse, welches direkt nach dem ersten Besuch gemessen wurde, nicht wieder erreicht werden. Mit Ausnahme der 8. Klassenstufe, wenn der Laborbesuch in den Unterricht eingebunden ist;</p> <p><u>Unterrichtseinbindung</u>: Positive Effekte bei der epistemischen Komponente des Interesses;</p> <p><u>Geschlechterunterschiede</u>: Keine Effekte</p>
<i>Glowinski (2007): Schülerlabore im Themenbereich Molekularbiologie als Interesse fördernde Lernumgebungen</i>
Kurzbeschreibung der Studie
<p>Schüler*innen der Sekundarstufe II besuchten das biotechnologische Schülerlabor an der Fachhochschule in Flensburg oder das Lübecker Offene Labor (LOLA) für einen Tag. Beide Labore bieten die gleichen molekularbiologischen Experimente an, wobei 62 % der Schüler*innen das LOLA besuchten. Direkt nach dem Besuch und zehn bis zwölf Wochen im Anschluss wurden für die Evaluation der Schülerlabore 286 Schüler*innen befragt.</p>
Ausgewählte Variablen & Ergebnisse
<p><u>Sachinteresse</u>: Geringfügiges Abklingen;</p> <p><u>Aktuelles Interesse</u>: Signifikanter Abfall der Komponenten Experimentieren und Kontext, keine Änderung des Interesses an einer authentischen Lernumgebung;</p> <p><u>Wissenserwerb</u>: Der wahrgenommene Wissenserwerb war bezüglich der Experimente am höchsten gefolgt vom wissenschaftlichen Arbeiten, Grundlagen und allgemeiner Molekularbiologie;</p> <p><u>Geschlechterunterschiede</u>: In allen Bereichen keine Unterschiede</p>
<i>Pawek (2009): Schülerlabore als interessefördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe</i>
Kurzbeschreibung der Studie
<p>Schüler*innen der Jahrgänge 9 - 13 besuchten die DLR School Labs in Göttingen, Berlin-Adlershof, Köln-Porz und Oberpaffenhofen. Hierbei wurden die Antworten von 734 Schüler*innen für die Auswertungen verwendet. Diese Schüler*innen nahmen an allein drei Befragungen, direkt vor dem Besuch (Prä), direkt im Anschluss (Post) und 6-8 Wochen später (Follow-up) teil.</p>
Ausgewählte Variablen & Ergebnisse

---

Sachinteresse: Bezüglich der Naturwissenschaften gab es keine signifikante Änderung und bezüglich des Experimentierens konnte eine signifikante Abnahme gemessen werden;

Aktuelles Interesse: Nahezu alle Schüler\*innen schätzen die emotionale und wertbezogene Komponente sehr hoch ein und nach der epistemischen Komponente möchte sich jede/r zweite Schüler\*in weiterhin mit dem Thema beschäftigen. Sechs bis acht Wochen später geringfügiges Absinken der epistemischen und emotionalen Komponente. Die wertschätzende Komponente bleibt stabil;

Laborvariablen: Größten Einfluss auf das aktuelle Interesse hatten die Laborvariablen Verständlichkeit der Experimente & Anleitungen, die Betreuung & Atmosphäre der Veranstaltung und Einblicke in die authentische Wissenschaft;

Fähigkeitsselbstkonzept: Signifikante Zunahme vom Prä- zum Post-Messzeitpunkt. Kein signifikanter Unterschied vom Post- zum Follow-up-Messzeitpunkt

---

**Weßnig (2013): Kooperatives Arbeiten an industrienahen außerschulischen Lernorten**

---

**Kurzbeschreibung der Studie**

In der Studie besuchten 324 Schüler\*innen der Klassenstufen 10 und 11 das Baylab plastics von Bayer MaterialScience und nahmen an allen drei Messzeitpunkten teil. Die Erhebungen fanden direkt vor (Prä-Test), nach (Post-Test) und drei Monate im Anschluss (Follow-up-Test) an der Befragung teil.

---

**Ausgewählte Variablen & Ergebnisse**

Image des Faches und der Wissenschaft Chemie & Physik: Kurzfristige signifikante Zunahmen;

Fähigkeitsselbstkonzept: Kurzfristige Zunahme für das Fach Chemie und längerfristige Zunahme für das Fach Physik;

Berufsorientierung: Längerfristige Zunahmen

---

**Budke (2019): Empirische Studie zu Effekten von stationären und mobilen Schülerlabor-angeboten**

---

**Kurzbeschreibung der Studie**

Für die Studie konnten die Ergebnisse von 340 Schüler\*innen der 7. und 8. Klassenstufe für die Auswertung herangezogen werden. Hiervon nahmen 245 Schüler\*innen am mobilen und 95 Schüler\*innen am stationären Schülerlaborprogramm GreenLab\_OS teil. Die Schüler\*innen wurden eine Woche vor der Intervention (Prä-Test), direkt nach der Intervention (Post-Test) und zwei Monate im Anschluss (Follow-up-Test) befragt.

---

**Ausgewählte Variablen & Ergebnisse**

Fachinteresse: Keine Änderungen über die drei Messzeitpunkte

Sachinteresse: Signifikante Abnahme vom Prä- zum Posttest

Aktuelles Interesse: Kurzfristiger signifikanter Anstieg in beiden Gruppen

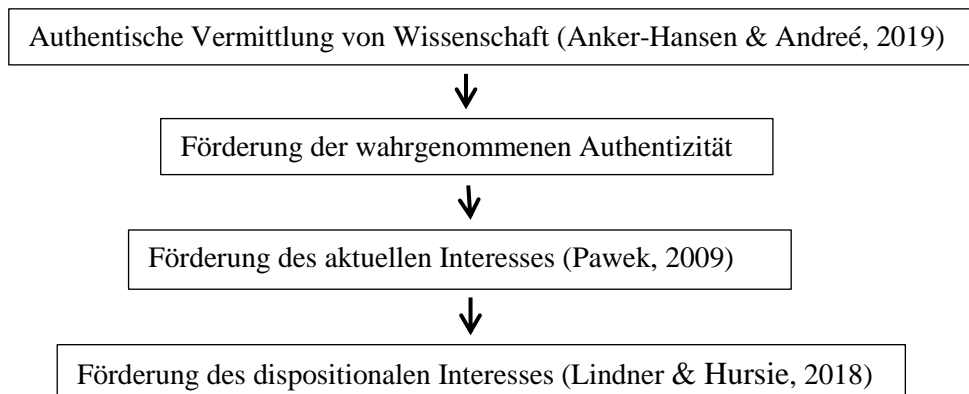
Fähigkeitsselbstkonzept: Signifikante Zunahme vom Prä- zum Posttest bei der Gruppe die das mobile Programm durchliefen; Signifikante Abnahme vom Post- zum

---

In den, in Tabelle 1.2, dargestellten Studien wurde vor allem die Wirkung eines Schülerlaborbesuches auf die Interessensentwicklung und das Fähigkeitsselbstkonzept untersucht. Zusammenfassend ergaben die Untersuchungen beider Bereiche kurz- bis mittelfristige positive Effekte. Langanhaltende Effekte konnten nicht eindeutig festgestellt werden. In der Studie von Pawek (2009) konnte das Fähigkeitsselbstkonzept durch den Schülerlaborbesuch signifikant gesteigert werden und blieb auch sechs bis acht Wochen im Anschluss stabil. Die Studie von Brandt (2005) zeigte nach vier Monaten allerdings keine Effekte mehr. Auch das aktuelle Interesse konnte in allen Studien (Pawek 2009, Guderian 2007, Brandt 2005, Budke, 2019) kurzfristig gesteigert werden. Allerdings nahm auch dieses in den meisten Fällen nach einigen Wochen wieder ab (Glowinski 2007, Engeln 2004, Pawek 2009, Guderian 2007, Brandt 2005, Budke, 2019). Ausnahmen waren das wertbezogene Interesse (Pawek 2009, Engeln 2004), welches auch nach einigen Wochen noch konstant blieb (Pawek 2009) oder sogar anstieg (Engeln 2004). Zudem blieb das Interesse der Schüler\*innen an einer authentischen Lernumgebung noch nach zehn bis zwölf Wochen stabil (Glowinski 2007). Die authentische Lernumgebung wiederum hatte nach Pawek (2009) und Engeln (2004) einen bedeutenden positiven Einfluss auf das aktuelle Interesse, vor allem auf die wertbezogene Komponente, welche längerfristig gefördert werden konnte. Hierdurch kann der Authentizität ein hohes Maß an Bedeutung zugeschrieben werden kann.

Auch Lindner & Hursie (2018) konnten feststellen, dass sich das aktuelle Interesse der Schüler\*innen, die sich weiter mit naturwissenschaftlichen Themen beschäftigen, zu einem dispositionalen Interesse manifestieren konnte. Dieses wiederum fördert eine tiefere Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Themen, wodurch die Kurswahlen und der berufliche Werdegang der Schüler\*innen beeinflusst werden können (Pawek, 2009, Mokhonko et al., 2014). Auch diesbezüglich ist die Authentizität von Bedeutung, denn die interessierten Schüler\*innen, welche sich für einen naturwissenschaftlichen Werdegang entscheiden, sollten möglichst authentische und keine unvollständigen und verzerrten Vorstellungen von naturwissenschaftlicher Forschung haben, wodurch sich der Kreis schließt.

Zusammengefasst fördert, wie in Abb. 1.6 dargestellt wird, eine authentische Vermittlung von Naturwissenschaften die Wahrnehmung von Authentizität, wodurch wiederum das aktuelle Interesse an Naturwissenschaften (Pawek 2009, Engeln 2004) positiv beeinflusst und ein dispositionales Interesse manifestiert (Lindner & Hursie, 2018) werden kann. Zudem spielen authentische Vorstellungen von Naturwissenschaften für interessierte Schüler\*innen und deren zukünftige Entscheidungen bezüglich ihres Werdegangs eine bedeutende Rolle.



**Abb. 1.6** | Übersichtsgrafik zur Förderung des Interesses durch authentischen Vermittlung von Naturwissenschaften.

Allerdings stellte Budke (2019) fest, dass der Beruf eines Chemikers / einer Chemikerin durch einen einmaligen Besuch in einem klassischen Schülerlabor, ohne eine gezielte Intervention, nicht authentisch vermittelt wird.

Basierend auf dieser Forschungsgrundlage war es das Ziel der vorliegenden Arbeit, ein authentisches Wissenschaftsverständnis von Schüler\*innen durch eine gezielte Intervention zu fördern.

### **1.3 Vermittlung von authentischen Wissenschaftsvorstellungen**

In dem folgenden Unterkapitel 1.3.1 sollen der Begriff Authentizität im Kontext der Vermittlung von authentischen Wissenschaftsvorstellungen näher definiert und der aktuelle Forschungsstand diesbezüglich diskutiert werden. Darauf folgend wird in Kapitel 1.3.2 vorgestellt welche Möglichkeiten Schülerlabore zur Vermittlung von authentischen Wissenschaftsvorstellungen bieten und in Kapitel 1.3.3 wird darauf eingegangen welche Maßnahmen bisher im *klick!labor* zur Förderung der authentischen Wahrnehmung umgesetzt wurden. Ergebnisse empirischer Untersuchungen im Vorfeld dieser Dissertation (Kapitel 1.3.3) zeigten allerdings, dass die Erwartungen der wahrgenommenen Authentizität im *klick!labor* nicht zufriedenstellend erfüllt werden konnten, weshalb eine entsprechende Überarbeitung des Programms entschieden wurde. Die daraufhin durchgeführten Maßnahmen werden in Kapitel 1.3.4 dargestellt. Abschließend folgen in Kapitel 1.4 eine Übersicht und ein Fazit der in Kapitel 1.2 und 1.3 beschriebenen Forschungsgrundlage.

### 1.3.1 Definition und Forschungsstand: Vermittlung eines authentischen Wissenschaftsverständnisses

Im Allgemeinen stammt das Adjektiv *authentisch* vom griechischen *authentikós* „echt“ und dem lateinischen *authenticus* „zuverlässig“, „verbürgt“ (Duden Band 5, 1997), ab.

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Begriff Authentizität in den folgenden drei Zusammenhängen verwendet, wobei mit Wissenschaft Naturwissenschaften gemeint sind:

- Die *authentische Wissenschaft* wird für ein umfassendes Bild realitätsnaher universitärer Naturwissenschaften verwendet. Die Naturwissenschaften können hierbei in drei unterschiedliche Schwerpunkte eingeteilt werden, das wissenschaftliche Wissen oder auch Produkte naturwissenschaftlicher Forschung (NOS), den Prozess naturwissenschaftlicher Forschung (NOSI) sowie die Arbeitsweisen und personenbezogenen Merkmale von Naturwissenschaftler\*innen (NoSt)<sup>2</sup>. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die *authentische Wissenschaft* durch umfassende Tätigkeitsaspekte von Forschenden, welche in das RIASEC+N-Modell<sup>3</sup> von Holland (1997) kategorisiert wurden, dargestellt.
- Die *Vermittlung eines authentischen Wissenschaftsverständnisses* beziehungsweise von *authentischen Wissenschaftsvorstellungen* dient zur Förderung authentischer Vorstellungen über die Wissenschaft. Hierfür eignet sich die Konzeption einer *authentischen Lernumgebung* mit den in Kapitel 1.3.2 beschriebenen Möglichkeiten im Schülerlabor.
- Die *Förderung der authentischen Wahrnehmung* von Wissenschaft wird durch die Darstellung *authentischer Wissenschaft* angestrebt. Hierfür eignen sich beispielsweise *authentische Lernumgebungen* und hands on Experimente mit Bezug zur „echten“ Forschung.
- Ein *authentisches Wissenschaftsverständnis* beziehungsweise *authentische Wissenschaftsvorstellungen* sollen wiederum durch die Darstellung authentischer Wissenschaft (erster Punkt) und die angestrebte bzw. empirisch nachweisbar entwickelte authentische Wahrnehmung von Schüler\*innen bezüglich Wissenschaft (zweiter Punkt) gefördert werden.

Der Begriff Authentizität wird in der Literatur nicht ausschließlich in dem Kontext der Naturwissenschaften, sondern auch in anderen Bereichen der Wissenschaftsvermittlung diskutiert. Unter anderem ist die Authentizität auch in der Didaktik der Geschichte seit einigen Jahren Bestandteil der historischen Wissenschaftsvermittlung, wobei sich der Begriff Authentizität jedoch speziell auf

---

<sup>2</sup> Eine Beschreibung der Konstrukte NOS, NOSI und NoSt folgt im Kapitel 7 bis 9.

<sup>3</sup> Eine Beschreibung des RIASEC+N-Modells von Holland (1997) erfolgt in den Kapiteln 7 bis 9.



historisch authentisches Lernmaterial bezieht. Mierwald, Lehmann & Brauch (2018) haben beispielsweise untersucht, inwiefern sich die epistemologischen Überzeugungen der Schüler\*innen durch unterschiedliches authentisches Lernmaterial in einem Schülerlaborprojekt verändern lassen. Ein weiterer Bereich der von Betz (2018) untersucht wurde, ist der Einfluss der wahrgenommenen Authentizität auf die linguistische Wissenschaftsvermittlung.

Auch im Kontext der *Vermittlung eines authentischen Wissenschaftsverständnisses* liegen verschiedene Arbeiten vor, unter anderem die Studien von Goldman (1996), Lee & Songer-Butler (2003), Blumenfeld et al. (1991), Krajcik et al. (1998), Barron et al. (1998), Pea (1994) und Edelson et al. (1999). Zusammenfassend wird in diesen Artikeln wiederholt beschrieben, dass eine *Vermittlung eines authentischen Wissenschaftsverständnisses* von Bedeutung ist, da hierdurch unter anderem das Interesse an Naturwissenschaften, eine positive Einstellung gegenüber Naturwissenschaften und das Engagement in naturwissenschaftliche Tätigkeiten gefördert wird (Woods-McConney et al., 2013). Als Möglichkeit für eine Vermittlung von authentischen Wissenschaftsvorstellungen werden unterschiedliche Ansätze diskutiert. Hierbei wird im Allgemeinen zwischen der Vermittlung mit einem Bezug zum Alltag beziehungsweise zur Berufswelt unterschieden (Engeln, 2004). Linn & Muilenburg (1996) verwenden beispielsweise Alltagsphänomene, um naturwissenschaftliche Prozesse verständlich zu machen. Glowinski (2007) bezieht sich dagegen auf die *Vermittlung eines authentischen Wissenschaftsverständnisses* durch einen hohen Bezug zu realen Forschungssituationen, in denen die Schüler\*innen die Denk- und Arbeitsweisen von Forschenden kennenlernen. Hierfür eignen sich beispielsweise Einblicke in Lösungsprozesse realer Probleme durch Forschende (Edelson et al., 1999). Dies wurde in einer Studie von Goldman et al. (1996) umgesetzt, indem entsprechende Videos entwickelt wurden in denen Forschende zu sehen sind, welche beispielsweise eine ausgelaufene Chemikalie auf einem Highway beseitigen. Blumenfeld et al. (1991), Krajcik et al. (1998) und Barron et al. (1998) beziehen sich dagegen auf Alltagsphänomene und das Lösen von Alltagsproblemen durch die Schüler\*innen. Neben diesen beiden Ansätzen wird von Pea (1994) der Kontakt von Schüler\*innen zu Forschenden und deren Arbeit zur Vermittlung von Authentizität vorgeschlagen (Lee & Songer-Butler, 2003).

Zur besseren Überschaubarkeit der bisherigen Studien führten Anker-Hansen & Andréé (2019) ein systematisches Review darüber durch, wie der Begriff Authentizität in Forschungsarbeiten im Bereich der Didaktik der Naturwissenschaften in den Jahren 2013 und 2014 genutzt wurde. Hierfür analysierten sie Artikel, welche in den drei hochrangigen internationalen Fachzeitschriften *Journal of Research in Science Teaching* (JRST), *Science Education* (SCIE) und *Studies in Science Education* (SSE) publiziert wurden. Insgesamt enthielten die untersuchten Zeitschriften in den zwei Jahren 68 Artikel in denen eine Form des Wortes Authentizität im Kontext der Vermittlung von naturwissenschaftlicher Forschung verwendet wurde. Anker-Hansen und Andréé (2019) konnten durch die

Untersuchungen acht unterschiedliche Kategorien identifizieren, wobei sich die Authentizität bei 38 der 68 Artikel auf die Praktiken „echter“ Forschender bezieht. Hierzu zählen unter anderem die Artikel von Kang, Thomson und Windschitl (2014) und Kloser (2013) in denen beschrieben wird, dass bestimmte wissenschaftliche Praktiken, wie das Untersuchen von Forschungsfragen, das wissenschaftliche Argumentieren und das Analysieren von Daten, in den Schulunterricht integriert werden sollten. Zudem empfehlen Nashon und Anderson (2013), dass mehr authentische Lernumgebungen geschaffen werden sollten bei denen mit Naturwissenschaftler\*innen zusammengearbeitet wird.

Der zweiten Kategorie von Anker-Hansen & Andréé (2019) konnten 20 Artikel zugeordnet werden. Diese beziehen sich auf die Authentizität in der Welt der Schüler\*innen. Als Beispiel wird unter anderem ein Artikel von Christodoulou & Osborne (2014) genannt, in welchem Situationen als authentisch beschrieben werden in denen Schüler\*innen ohne direkte Einwirkung der Lehrkraft miteinander argumentieren. In 18 Artikeln wurde das Einbeziehen von „forschenden Praktiken“, auf Englisch „inquiry practices“, in den naturwissenschaftlichen Unterricht als authentizitätsfördernd genannt. Als Beispiel hierfür wird ein Artikel von Wendt & Rockingson-Szapkiw (2014) aufgeführt, in dem es heißt, dass diese authentischen Aktivitäten Schüler\*innen dabei helfen bereits vorhandenes Vorwissen zu nutzen um ein neues Verständnis von Naturwissenschaften entwickeln zu können. Der vierten Kategorie wurden neun Artikel zugeordnet bei denen außerschulische Praktiken als authentisch beschrieben werden. Die weiteren Kategorien denen die übrigen Artikel zugeordnet werden konnten, betrafen den Wissenstransfer von bekannten zu neuen Kontexten, den Bezug von Wissenschaft zu alltäglichen Anliegen (citizens‘ use of science), in zwei Artikeln wurde die Authentizität im Curriculum diskutiert und in einem Artikel das Verhältnis der Lehrkraft zu den Schüler\*innen.

Die Einteilung der 68 Artikel in die acht Kategorien zeigt, dass die Authentizität im Zusammenhang der naturwissenschaftlichen Bildung auf sehr unterschiedliche Weise verstanden und genutzt werden kann. Überwiegend wird der Begriff allerdings im Zusammenhang mit einer authentischen Vermittlung von Naturwissenschaften durch einen Bezug zur „echten“ Forschung verwendet. Da dieses auch eines der Hauptziele von Schülerlaboren ist, ist es wenig überraschend, dass zumindest die ersten sechs der acht genannten Kategorien für die Entwicklung und Optimierung von Schülerlaborprogrammen relevant sind.

### *1.3.2 Vermittlung von authentischen Wissenschaftsvorstellungen im Schülerlabor*

Im Folgenden werden sechs Merkmale und Möglichkeiten beschrieben, wie die Naturwissenschaften in Schülerlaboren authentisch vermittelt werden können:

1. Durch Räumlichkeiten, die sich in Nähe von Forschungs- und Universitätsinstituten, Museen, Science Center oder Unternehmen befinden (Pawek, 2009).
2. Durch Lernumgebungen, welche mit einer möglichst forschungsechte Einrichtung ausgestattet sind. Dazu gehören moderne Geräte und Instrumente wie beispielsweise Mikroskope, Abzüge und leistungsfähige Rechner (Pawek, 2009).
3. Durch forschungsnahe Experimente, bei welchen die Lernenden die Möglichkeit haben sich in die Rolle eines Forschenden hineinzusetzen und an aktuellen Forschungsfragen zu arbeiten. Hierbei sollte das Experimentieren möglichst selbstständig „inquiry based“ und unter Begleitung eines Experten stattfinden (Lee & Songer Butler, 2003; Pawek, 2009).
4. Durch einen Bezug zum Alltag (Engeln, 2004), wie beispielsweise durch das Lösen von alltäglichen Problemen, von denen auch die Schüler\*innen betroffen sein können (Lee & Songer Butler, 2003).
5. Durch das Lösen von „real-world“ Problemen (Edelson et al., 1999). Hierbei handelt es sich nicht um alltägliche Probleme oder Phänomene, von denen jede(r) betroffen sein kann, sondern eher um größere Ereignisse, wie beispielsweise in der Studie „The Scientist in Action Series“ von Goldman et al. (1996).
6. „echte“ Messdaten, den persönlichen Kontakt zu Forschenden (Songer 1998, Pea 1994, Lee & Butler Songer, 2003) und/oder das „über die Schulter schauen“ echter Naturwissenschaftler um deren Arbeitsalltag zu erfahren.

In vielen Schülerlaboren werden und wurden bereits mehrere der genannten Punkte bewusst oder auch unbewusst berücksichtigt und umgesetzt. In den Studien von Brown et al. (1998) und Nachtigall et al. (2018) wurde die Authentizität beispielsweise durch situiertes Lernen in authentischen und komplexen Problem- und Handlungssituationen dargestellt. In der Studie von Nachtigall et al. (2018) wurden 212 Schüler\*innen in einem erziehungswissenschaftlichen Schülerlabor befragt, wobei eine Gruppe an Schüler\*innen eine Problemstellung mit anschließender Instruktion (eher authentische Lernumgebung) und die andere Gruppe ein instruiertes Problem (weniger authentische Lernumgebung) bearbeitete. Die Befragungen der beiden Gruppen ergaben jedoch keine positiven Effekte bezüglich der wahrgenommenen Authentizität.

Auch in der Studie von Schwarzer & Parchmann (2015), welche vor der vorgestellten Studie im *klick!labor* durchgeführt wurde und in Kapitel 1.3.3 beschrieben wird, konnte kein fördernder Effekt bezüglich der wahrgenommenen Authentizität durch die Entwicklung forschungsnaher Versuchsstationen festgestellt werden.

Darauf basierend war es das Ziel der vorliegenden Arbeit die authentische Wahrnehmung der Schüler\*innen, welche das *klick!labor* besuchten, weitestgehend zu fördern.

### *1.3.3 Authentizität im Schülerlaborprogramm klick! vor Beginn der Promotionsstudie*

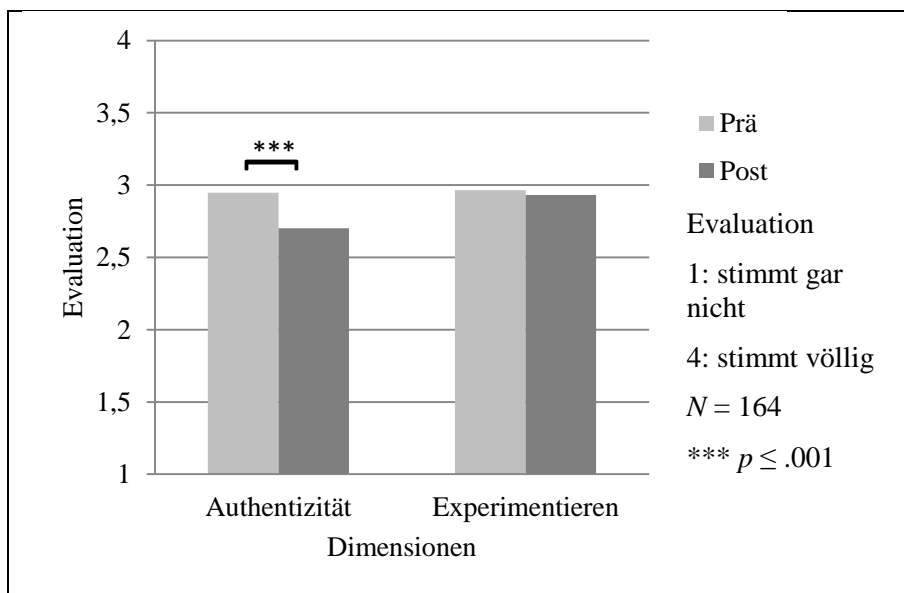
An dieser Stelle sollen die vor Beginn der Promotionsstudie im Schülerlaborprogramm *klick!* enthaltenen Authentizitätsmerkmale und die erwartete und wahrgenommene Authentizität vorgestellt werden.

Das nanotechnologische Schülerlaborprogramm *klick!* wurde im Jahre 2011 für die Sekundarstufe II entwickelt und evaluiert. Die damals im Programm enthaltenen zwölf Versuchsstationen wurden in Zusammenarbeit mit Wissenschaftler\*innen des Sonderforschungsbereichs 677 „Funktion durch Schalten“ (genauere Beschreibung der Versuchsstationen in Kapitel 5) entwickelt. Um eine Überforderung der Schüler\*innen durch zwölf unterschiedliche Stationen an einem Tag zu vermeiden, wurden nicht alle Stationen von jedem Schüler / jeder Schülerin besucht, und es wurde auch keine Reihenfolge der Stationen festgelegt. Die Schüler\*innen arbeiteten in Zweier- und Dreiergruppen an den Stationen. Studentische Hilfskräfte mit naturwissenschaftlichem Hintergrund betreuten jeweils zwei Stationen, wobei für jede Schülergruppe an jeder Station etwa 30 Minuten eingeplant wurden.

Die authentischen Komponenten des Programms waren die Lage in Universitätsnähe, das Arbeiten an aktuellen Forschungsthemen mit Bezug zum Alltag und die moderne Ausstattung des Schülerlabors. Die Schüler\*innen erhielten beispielsweise die Möglichkeit, mit Geräten wie einem Rasterkraftmikroskop (AFM) zu arbeiten. Außerdem konnten die Schüler\*innen weitestgehend selbstständig an den Versuchen arbeiten.

Zusammenfassend konnten hierdurch die oben beschriebenen Punkte 1. bis 4. (Kapitel 1.3.2: „Vermittlung von authentischen Wissenschaftsvorstellungen im Schülerlabor“) bereits erfüllt werden.

Die damals von den Schüler\*innen, zum Prä-Messzeitpunkt erwartete und zum Post-Messzeitpunkt wahrgenommene Authentizität und das experimentelle Arbeiten werden in der Abb. 1.7 dargestellt (Schwarzer & Parchmann, 2015).



**Abb. 1.7** | Ergebnisse zu den Erwartungen und Bewertungen der Authentizität und des experimentellen Arbeitens im Schülerlaborprogramm *klick!* vor Beginn des Promotionsvorhabens.

Insgesamt wurden die Erwartungen der Schüler\*innen bereits vor dem Besuch im *klick!:*labor hoch eingeschätzt. Dennoch konnten diese bezüglich des Experimentierens erfüllt werden, wodurch der bereits hohe Anteil des experimentellen Arbeitens im *klick!* wiedergespiegelt wird. Die erwartete Authentizität der Schüler\*innen konnte dagegen nicht erfüllt werden.

Neben den quantitativen Untersuchungen wurde das Laborprogramm im Rahmen einer Masterarbeit von Sarah Lutz (2016) mittels einer Interviewstudie zur Einschätzung der Lernumgebungen untersucht.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Schüler\*innen beispielsweise die modernen Geräte im *klick!* als sehr positiv wahrnahmen. Andererseits waren sich die Schüler\*innen nicht darüber einig, ob die Arbeit an den Stationen, der der Forschenden entspricht. Mehrmals wurde geäußert, dass die Versuche trotz der Nähe zur Forschung des SFB 677 vereinfacht und somit weniger authentisch sind. Ein gewisses Maß der Vereinfachung, durch eine didaktische Strukturierung (Abb. 1.1), ist allerdings notwendig, damit zwar der Anspruch auf Forderung, aber dennoch keine Überforderung, der Schüler\*innen bewirkt wird (Euler, 2001; Harlen, 1999).

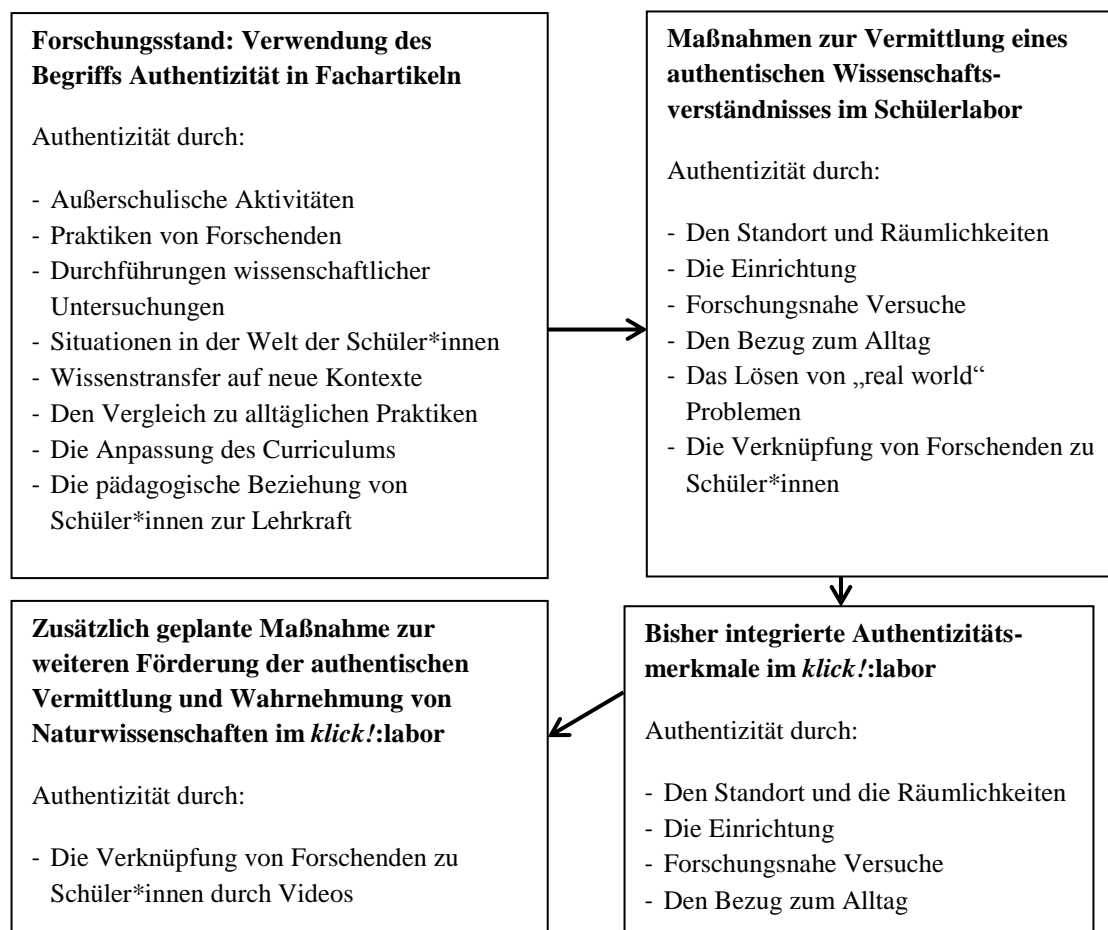
Das authentische Arbeiten wird allerdings immer wieder gefordert (Pea, 1994; Braund & Reiss, 2006; Euler & Weßnigk, 2011) und auch die Schüler\*innen äußerten den Wunsch echt Wissenschaftler\*innen zu treffen und ihnen bei der Arbeit zuschauen zu können (Lutz, 2016).

Durch die Erkenntnisse der Masterarbeit und den gemessenen signifikanten Unterschied zwischen der erwarteten und der wahrgenommenen Authentizität war es

eines der Ziele des vorgestellten Promotionsvorhabens die Authentizität im Schülerlaborprogramm *klick!* durch Einblicke in die aktuelle Forschung weiter zu fördern.

#### 1.3.4 Maßnahmen zur Förderung der authentischen Wahrnehmung von Naturwissenschaften im Schülerlaborprogramm *klick!*

In Abb. 1.8 (links-oben) wird zusammenfassend der aktuelle Forschungsstand zur Vermittlung authentischer Wissenschaft dargestellt (1.3.1). Durch diesen Forschungsstand ergeben sich die in Abb. 1.8 (rechts-oben) dargestellten möglichen Maßnahmen zur Vermittlung eines authentischen Wissenschaftsverständnisses im Schülerlabor (Kapitel 1.3.2). Vier dieser Maßnahmen, der Standort und Räumlichkeiten, die Einrichtung, forschungsnahe Versuche und der Bezug zum Alltag (Abb. 1.8, rechts-unten) wurden bereits vor Beginn der Promotionsstudie durch das *klick!* Programm erfüllt (Kapitel 1.3.3). Die beiden weiteren Maßnahmen, das Lösen von „real world“ Problemen und die Verknüpfung von Forschenden zu Schüler\*innen, wurden dagegen noch nicht umgesetzt.



**Abb. 1.8** | Darstellung einer Übersicht des Forschungsstands zur Verwendung des Begriffs Authentizität, der Möglichkeiten der Integration von Authentizität im Schülerlabor und die daraus folgende Umsetzung im *klick!:*labor.

Da die Erwartungen der Schüler\*innen bezüglich der authentische Wahrnehmung bisher allerdings nicht erfüllt werden konnten (Abb. 1.7), sollte im Rahmen der vorgestellten Promotionsarbeit eine weitere Förderung der wahrgenommenen Authentizität durch die Umsetzung des 6. Punktes (Abb. 1.8 „der Verknüpfung von Schüler\*innen und Forschende“) geschehen. Hierfür wurden vier Videos in Zusammenarbeit mit Forschenden aus unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Bereichen entwickelt, durch welche die Schüler\*innen authentische Einblicke in den Arbeitsalltag von Forschenden erhalten können. Diese Videos wurden inhaltlich passend als Einstieg in die jeweiligen Stationen entwickelt, so dass die Schüler\*innen zunächst durch die Videos erfahren, wie Forschende arbeiten, um anschließend selbst wissenschaftsnahe Versuche durchführen zu können.

Die für dieses Vorhaben abgeleiteten Forschungsfragen und Hypothesen zur Förderung der authentischen Wahrnehmung von Naturwissenschaften werden in Kapitel 1.5 und die darauf basierend geplante Studie zur Untersuchung der Forschungsfragen in den Kapiteln 1.6 – 8 vorgestellt.

## **1.4 Forschungsfragen und Hypothesen der Studien zur Förderung der Authentizität im Schülerlaborprogramm *klick!***

Als Hauptziele der auf diesem theoretischen Hintergrund basierenden Arbeit können zum einen die Vermittlung von Arbeitsweisen von Forschenden und zum anderen die Untersuchung der erwarteten und wahrgenommenen Authentizität vor und nach einem Besuch im Schülerlaborprogramm *klick!* benannt werden. Weitere Variablen wie Motivation und Interesse werden ebenfalls betrachtet.

Zur Überprüfung der genannten Ziele wurden die folgenden Forschungsfragen und Hypothesen formuliert:

- I. Inwiefern unterscheiden sich die Vorstellungen von naturwissenschaftlich Forschenden über ihre eigene Arbeit von den Vorstellungen der Schüler\*innen über die Arbeitsweisen naturwissenschaftlich Forschender? Welche Tätigkeiten von naturwissenschaftlich Forschenden sind Schüler\*innen bereits bekannt, wo besteht Förderungsbedarf? (Kapitel 5)

Beim Vergleich der stereotypischen Vorstellungen (u.a. Höttecke, 2004) mit den Inhalten der Konstrukte NOS und NOSI (Lederman, 2007; Schwarz et al., 2008) werden u.a. die kreativen, künstlerischen, unternehmerischen, aber auch die sozialen und kooperativen Aspekte bei den stereotypischen Vorstellungen unterschätzt. Die typische Laborarbeit ist dagegen in den Beschreibungen der Stereotypen vertreten. Demzufolge sind die stereotypischen Vorstellungen der Schüler\*innen über die Naturwissenschaften unvollständig, weshalb die Hypothese dieser Forschungsfrage ist, dass die unterschiedlichen Sichtweisen der beiden befragten Gruppen, Schüler\*innen und Forschende, in den Antworten widerspiegelt wird. Die Dimensionen *Artistic*, *Social*, *Enterprising* und *Networking* sollten demnach von den Forschenden höher eingeschätzt werden als von den Schüler\*innen, wogegen die

Dimensionen *Realistic*, *Investigative* und *Conventional* angemessener eingeschätzt werden sollten.

- II.** Welche Aspekte nehmen die Schüler\*innen beim Betrachten von Experimentierstationen zugehörigen Videos über den Arbeitsalltag von Forschenden wahr? (Kapitel 6)

Da in den Videos die Tätigkeiten aller sieben RIASEC+N-Bereiche explizit integriert wurden, ist die Hypothese, dass die Schüler\*innen Tätigkeiten aller sieben Bereiche wahrnehmen.

- III.** Welche Wirkung haben Videos aus der naturwissenschaftlichen Forschung mit speziell integrierten Tätigkeitsaspekten auf das Wissenschaftsverständnis von Schüler\*innen? (Kapitel 7)

Die Hypothese ist, dass die von den Schüler\*innen zunächst als wenig typisch eingeschätzten Tätigkeitsbereiche (A, E, S, N) nach dem Betrachten der Videos als wichtigerer Bestandteil eingeschätzt werden.

- IV.** Inwieweit wirken sich die Einblicke in die naturwissenschaftliche Forschung durch Videos im Schülerlabor *klick!* auf die wahrgenommene Authentizität von Schüler\*innen aus? (Kapitel 7)

Insgesamt werden bereits durch den Besuch im Schülerlabor *klick!* (ohne Videoeinblicke in die Forschung) einige Authentizitätsmerkmale, wie beispielsweise durch den Standort der *KiFo* und die moderne Ausstattung, abgedeckt. In den Videos werden zusätzlich „echte“ Naturwissenschaftler\*innen bei der Arbeit gezeigt. Der indirekte Kontakt zu den Forschenden lässt erwarten, dass hierdurch das gesamte Laborprogramm als authentischer wahrgenommen wird. Die Hypothese ist demnach, dass die wahrgenommene Authentizität sowohl durch die Versuche (im Falle der Kontrollgruppe) als auch durch die Videos, welche die Schüler\*innen der Interventionsgruppe zusätzlich anschauen, gefördert werden kann.

- V.** Inwieweit wirken sich die Einblicke in die naturwissenschaftliche Forschung durch Videos im Schülerlabor *klick!* auf das Interesse, die Motivation, das Fachwissen, das Experimentieren und das selbständige Arbeiten von Schüler\*innen aus? (Kapitel 9)

Da nach den Studien von Pawek (2009) durch eine Vermittlung von authentischen Wissenschaftsvorstellungen wiederum auch das Interesse an Naturwissenschaften gefördert werden kann, ist die Hypothese, dass das Interesse gesteigert wird. Da beispielsweise bei der Intervention von Brandt (2005) durch die Förderung des Interesses auch die intrinsische Motivation kurzfristig gefördert werden konnte, wäre auch eine Förderung dieser möglich. Die Einschätzungen der Schüler\*innen

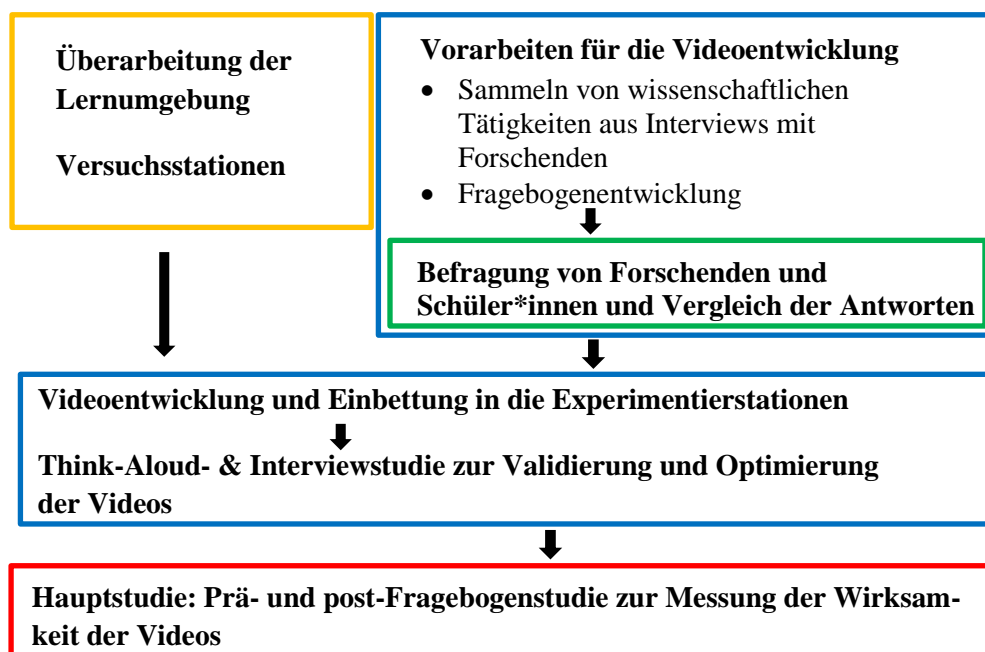


bezüglich des Experimentierens konnten bereits vor Beginn der Studie durch das *klick!* Programm bestätigt werden (Schwarzer & Parchmann, 2015). Da die Inhalte der Stationen erhalten blieben, sollten diese auch weiterhin durch die Versuche (auch mit Videoeinsichten) gefördert werden.

In Kapitel 5 wird auf die erste, in Kapitel 6 auf die zweite, in Kapitel 7 auf die dritte sowie vierte und in Kapitel 9 auf die fünfte Forschungsfrage eingegangen.

## 1.5 Überblick der geplanten Studie zur Förderung der Authentizität im Schülerlaborprogramm *klick!*

In den folgenden Kapiteln (2 bis 8) werden die einzelnen Phasen des Promotionsvorhabens dargestellt. Daher wird an dieser Stelle zur besseren Übersicht des gesamten Ablaufs der Studie in Abb. 1.9 eine inhaltliche Übersicht der Promotionsstudie dargestellt.



**Abb. 1.9** | Übersicht der Promotionsstudie zur Förderung der Wahrnehmung von Authentizität. Der gelb umrandete Abschnitt wird in Kapitel 4, 5 & 7 (Publ. 1), die blau umrandeten Abschnitte werden in Kapitel 8 (Publ. 2), der grün umrandete Abschnitt in Kapitel 9 (Publ. 3) und der rot umrandete Abschnitt in Kapitel 10 (Publ. 4) ausführlich beschrieben. Eine Zusammenfassung der Studien erfolgt in Kapitel 11 (Publ. 5).



# Kapitel 2

---

## Lernumgebung: Schülerlaborprogramm *klick!*

### 2.1 Überarbeitung der Lernumgebung

Zur Förderung der authentischen Wahrnehmung fand zu Beginn des Promotionsvorhabens eine Überarbeitung des *klick!* Programmes statt, welche in diesem Abschnitt beschrieben wird.

Im bisherigen *klick!* Programm (Kapitel 1.1.3) konnte nicht jeder Schüler / jede Schülerin alle zwölf Stationen an einem Labortag durchlaufen. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde die Anzahl der Stationen zunächst von zwölf auf sechs reduziert, so dass jeder Schüler und jede Schülerin am Ende des Labortages möglichst identische Versuche durchgeführt hat. Dies war notwendig, damit alle Schüler\*innen die gleichen authentischen Eindrücke erhielten und somit die authentischen Wahrnehmungen aller Schüler\*innen gemessen und miteinander verglichen werden konnten. Außerdem konnte durch die geringere Anzahl an Stationen die Betreuungsrelation erhöht werden, so dass jede einzelne Station von einem Experten (studentische Hilfskräfte mit naturwissenschaftlichem Hintergrund) betreut wurde.

Damit der Anteil des experimentellen Arbeitens und der Inhalt der Stationen möglichst erhalten blieben, wurden, wie in Tab. 2.1 dargestellt wird, sechs der ursprünglichen Stationen (Station 3 bis 8) zu drei neuen Stationen (Station 3, 5 und 6) zusammengelegt. Hierfür wurden jeweils zwei Stationen, deren fachlicher Inhalt weitestgehend übereinstimmte, ausgewählt. Erprobungen zeigten, dass die neu entstandenen Stationen ohne Zeitdruck innerhalb von 40 Minuten bearbeitet werden konnten. Zwei weitere Stationen (Station 1 und 2) wurden stark überarbeitet und eine weitere Station (Station 4) wurde neu entwickelt (Kapitel 2.3.4: Simulationen von Molekülen am Computer, Anhang). Vier der ursprünglichen Stationen (Station 9 bis 12) wurden in dem überarbeiteten *klick!* Programm nicht mehr angeboten. Die Stationen des überarbeiteten *klick!* Programmes werden in Kapitel 2.3 ausführlich vorgestellt.

**Tab. 2.1** | Darstellung der zwölf Stationen des ursprünglichen *klick!* Programmes (links) und der sechs Stationen des überarbeiteten *klick!* Programmes.

Nr. der Station	Stationen des ursprünglichen Programmes	Nr. der Station	Stationen des überarbeiteten Programmes
1	Synthese von Goldnanopartikeln	1	Synthese von Goldnanopartikeln
2	Spiropyran	2	Spiropyran
3	Alltagsschalter	3	Alltagsschalter (mit Berliner Blau)
4	Berliner Blau	4	Computersimulationen (neu entwickelt, Kapitel 7)
5	Modifizierung von Oberflächen	5	Modifizierung und Untersuchung von Oberflächen
6	Untersuchung von Oberflächen		
7	AFM-Messungen	6	AFM- / STM-Messungen
8	STM-Messungen		
9	Diffusion von Nanopartikeln		
10	Katalyse durch Nanopartikel		
11	Schichtdicke einer Seifenblase		
12	Interferenz an dünnen Schichten		

## 2.2 Ablauf eines Laborbesuches

Das *klick!* wird im Klassenverbund von ganzen Schulklassen der Sekundarstufe II (10. – 13.te Klassenstufe) besucht, welche von Gemeinschafts- und Gymnasialschulen Schleswig-Holsteins kamen und von ihren Lehrkräften begleitet werden.

Das Laborprogramm *klick!* ist für sechs Zeitstunden angesetzt, wobei die Schulklassen vormittags zwischen 8 und 10 Uhr eintreffen und entsprechend bis zum Nachmittag (14 bis 16 Uhr) das Laborprogramm durchlaufen.

Nach dem Eintreffen und einer kurzen Begrüßung füllen die Schüler\*innen die Fragebögen für den Testzeitpunkt 1 aus. Anschließend wird ein kurzer Einführungsvortrag über die *KiFo* und die angebotenen Laborprogramme, insbesondere das *klick!labor* und die Experimente im *klick!labor*, gehalten. Nach einer Sicherheitsunterweisung werden die Schüler\*innen in sechs zufällig

zusammengesetzte Gruppen, in der Regel bestehend aus drei bis vier Schüler\*innen, eingeteilt und durch die Räume und Labore der *KiFo* geführt, in denen später die Versuche durchgeführt werden.

Nach dem Rundgang durch die Laborräume findet die erste Experimentierphase statt, in der die Schüler\*innen in einer bestimmten Reihenfolge drei der sechs Versuchsstationen durchlaufen. Die Stationen werden im Kapitel 2.3 in Tabelle 2.3 dargestellt. Nach der ersten Station besucht jede Gruppe die nächste Station, bis am Ende des Labortages jede Gruppe jede Station besucht hat.

Nach zweistündigem Experimentieren folgt eine 45-minütigen Mittagspause. Anschließend beginnt die zweite Experimentierphase, in der die weiteren drei Versuche von den Schüler\*innen durchgeführt werden. Am Ende des Labortages finden vor der Abreise eine kurze Abschlussbesprechung und der Testzeitpunkt 2 (Post-Befragung) statt. Die genaue zeitliche Einteilung der Labortage wird in Tabelle 2.2 dargestellt.

**Tab. 2.2** | Zeitlicher Ablaufplan des 6-stündigen Besuches im *klick!:*Labor.

Zeiteinteilung	Aktivität
Zwischen 8 und 10 Uhr	Eintreffen in der <i>KiFo</i>
15 Minuten	Begrüßung und Prä-Fragebogen
30 Minuten	Einführungsvortrag mit Sicherheitsbelehrung
15 Minuten	Gruppeneinteilung und Rundgang durch die Räume
2 Stunden	Experimentierphase I
45 Minuten	Mittagspause
2 Stunden	Experimentierphase II
15 Minuten	Abschlussbesprechung und Post-Fragebogen
Zwischen 14 und 16 Uhr	Abreise

## 2.3 Versuchsstationen des *klick!:*labors

Die im Folgenden vorgestellten sechs Versuchsstationen des *klick!:*labors wurden in Zusammenarbeit mit und basierend auf der Forschung von den Forschenden des SFB 677 „Funktion durch Schalten“ entwickelt.

Insgesamt werden durch die Stationen des *klick!:*labors drei inhaltliche Schwerpunkte, (1) Nanowissenschaften, (2) Chemische Schalter und (3) Methoden

& Verfahren, abgedeckt (Schwarzer et al., 2013). Die Schwerpunkte und kurze Beschreibungen der Stationen werden zur Übersicht in Tabelle 2.3 dargestellt.

Jedem der drei Schwerpunkte können zwei Versuchsstationen zugeordnet werden. Zu den nanowissenschaftlichen Versuchen gehört die „Synthese von Goldnanopartikeln“ und die „Modifizierung und Untersuchung von Oberflächen“ (Station 1 und 5 in Tabelle 2.3). Die Stationen „Spiropyran“ und „Alltagsschalter“ (Station 2 und 3 in Tabelle 2.3) können den Versuchen mit dem Schwerpunkt chemische Schalter zugeordnet werden, und zu den Versuchen mit dem Schwerpunkt Methoden & Verfahren gehören die Stationen „Computersimulationen“ und „STM- und AFM-Messungen“ (Station 4 und 6 in Tabelle 2.3). Die Nummern der Stationen in Tabelle 2.3 entsprechen der Reihenfolge, in der die Schüler\*innen die Stationen an den Labortagen durchliefen.

**Tab. 2.3** | Übersicht der sechs Versuchsstationen des *klick!* Programmes, mit jeweiligem Schwerpunkt und einer kurzen inhaltlichen Beschreibung der Station.

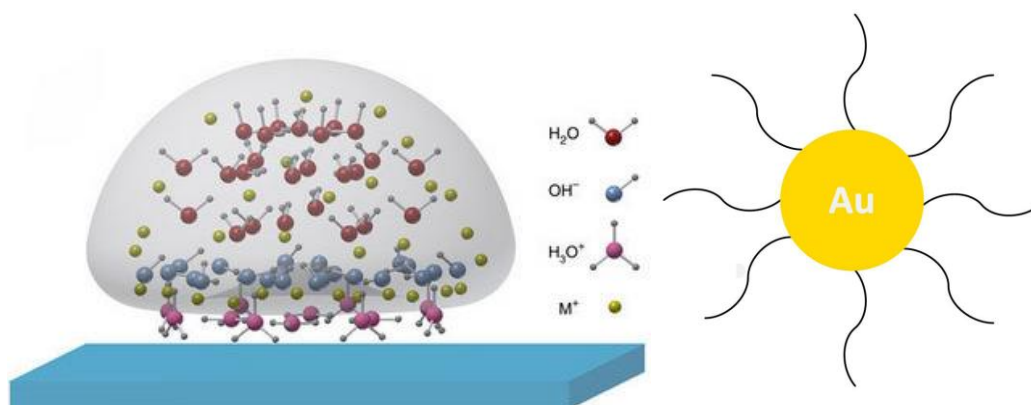
Nummer	Name der Station	Schwerpunkt & Inhalt
1	Synthese von Goldnanopartikeln	<b>Nanowissenschaften:</b> Synthese von Goldnanopartikeln im Leidenfrost-Reaktor
2	Spiropyran	<b>Chemische Schalter:</b> Schaltversuche von Spiropyran mit unterschiedlichen Lichtquellen und in verschiedenen Lösungsmitteln
3	Alltagsschalter	<b>Chemische Schalter:</b> Versuche mit Alltagsgegenständen in denen chemische Schalter enthalten sind
4	Computersimulationen	<b>Methoden &amp; Verfahren:</b> Simulation von kleinen organischen bis großen Biomolekülen mit zwei unterschiedlichen Simulationsprogrammen am Computer
5	Modifizierung und Untersuchung von Oberflächen	<b>Nanowissenschaften:</b> Generierung und Vermessung von selbstreinigenden nanostrukturierten Oberflächen zur Erklärung des Lotos-Effektes
6	STM- und AFM-Messungen	<b>Methoden &amp; Verfahren:</b> Vermessung von Oberflächen, wie die eines Haares, um deren Struktur im Nanometerbereich „sichtbar“ zu machen

Die Versuchsanleitungen und Arbeitsblätter der hier vorgestellten Stationen können im Anhang eingesehen werden.

### 2.3.1 Station 1: Synthese von Goldnanopartikeln

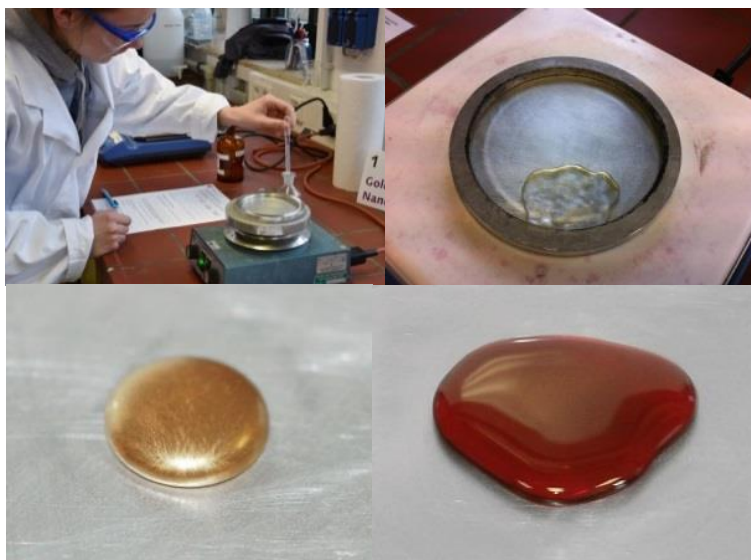
In der ersten Station mit dem Schwerpunkt Nanowissenschaften können die Schüler\*innen Goldnanopartikel in einem Leidenfrost-Reaktor herstellen (Abb. 2.2, oben-links).

Bei dem Leidenfrost-Reaktor handelt es sich um einen Wassertropfen, welcher sich auf einer etwa 300 °C heißen Heizplatte befindet (Abb. 2.2, oben-rechts). Durch die hohe Temperatur der Heizplatte entsteht Wasserdampf zwischen dem Tropfen und der Heizplatte, wodurch der Wassertropfen, wie in Abb. 2.1 (links) dargestellt wird, über die Heizplatte „schwebt“. Zudem entsteht durch das Temperaturgefälle zwischen der Heizplatte und dem Wassertropfen ein besonderes saures und basisches Milieu im Wassertropfen (Abb. 2.1, links).



**Abb. 2.1** | Links: Schematische Darstellung eines Leidenfrost-Reaktors: Ein Wassertropfen auf einer etwa 300 °C heißen Oberfläche (Abbildung: Abdelaziz, R. et al., 2013). Rechts: Ein durch die Anlagerung von Citrat-Ionen stabilisierter Goldnanopartikel.

Für die Synthese der Goldnanopartikel wird Goldsäure als Ausgangsstoff in den Leidenfrost-Reaktor gegeben. Diese wird durch die basischen Bedingungen zu elementarem Gold reduziert. Dadurch entstehen zunächst kleine Goldnanopartikel, welche aufgrund ihrer geringen Größe durch einen rötlichen Farbton „sichtbar“ erscheinen (Abb. 2.2, unten-links). Damit die Nanopartikel beziehungsweise deren rötliche Färbung für einen kurzen Zeitraum von wenigen Minuten beobachtet werden kann, wird das Wachstum der Nanopartikel durch die Hinzugabe von Citrat-Ionen verlangsamt. Hierbei lagern sich die Citrat-Ionen um die Goldnanopartikel herum an, wie in Abb. 2.1 (rechts) dargestellt wird. Am Ende des Versuches entsteht, wenn alles wie geplant funktioniert hat, glänzendes Gold (Abb. 2.2, unten-rechts).

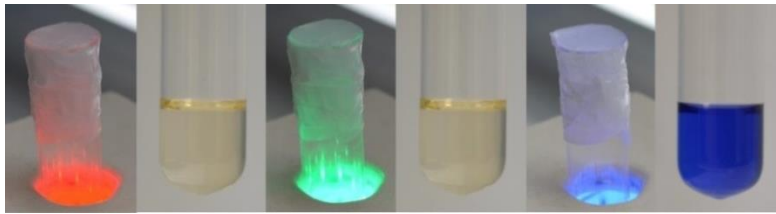


**Abb. 2.2** | Oben-links: Schülerin bei der Synthese von Goldnanopartikeln. Oben-rechts: Ein Wassertropfen, welcher sich auf einer 300 °C heißen Heizplatte befindet und auch als Leidenfrost-Reaktor bezeichnet wird. Unten-links: Goldnanopartikel in einem Leidenfrost-Reaktor. Unten-rechts: Glänzendes Gold in einem Leidenfrost-Reaktor (Abbildungen - oben: Pressestelle CAU: Siekmann; Abbildungen - unten: Schwarzer et al., 2016).

### 2.3.2 Station 2: Spiropyran

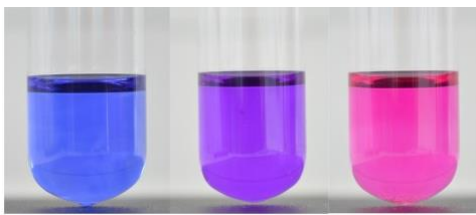
Bei der zweiten Station mit dem Schwerpunkt chemische Schalter führen die Schüler\*innen zwei verschiedene Experimente mit dem chemischen Schalter Spiropyran durch. Bei dem ersten Experiment wird ein wenig Spiropyran in dem unpolaren Lösungsmittel Xylol gelöst. Anschließend untersuchen die Schüler\*innen mit Hilfe einer LED-Box, die LEDs mit unterschiedlichen Wellenlängen enthält, welches Licht mit welcher Wellenlänge für den Schaltvorgang des Spiropyrans benötigt wird. Bei der Verwendung von rotem oder grünem Licht blieb die Lösung farblos (Abb. 2.3, links und Mitte). Erst bei der Verwendung von UV- Licht wechselt die Farbe zu einem tiefen Blau (Abb. 2.3, rechts; Banerji & Tausch , 2010). Mit Hilfe gezielter Aufgaben (Anhang: Aufgabenzettel Station 2) und Überlegungen finden die Schüler\*innen heraus, dass das UV-Licht die entsprechende Energiemenge aufweist, welche für den Bindungsbruch des Spiropyrans benötigt wird. Durch den Bindungsbruch entsteht das sogenannte Merocyanin, welches, wie in Abb. 2.3 (rechts) gezeigt wird, blau erscheint (eine genauere Beschreibung des Schaltvorganges kann in Kapitel 1.1.3 nachgelesen werden).





**Abb. 2.3** | Schaltversuch des Spiropyrans mit Licht unterschiedlicher Wellenlängen. Nach dem Bestrahlen mit rotem (links) und grünem (Mitte) Licht bleibt die Spiropyran-Lösung farblos. Bei Verwendung von UV-Licht wechselt die Farbe der Lösung zu einem tiefen Blau (rechts) (Abbildungen: Stamer).

Im zweiten Versuch lösen die Schüler\*innen das Spiropyran in unterschiedlich polaren Lösungsmitteln. Anschließend wird das gelöste Spiropyran mittels UV-Licht „geschaltet“ und die Schüler\*innen untersuchen den Einfluss der Lösungsmittel auf die Farbigeit (Abb. 2.4) und die Langlebigkeit des entstandenen Merocyanins. Das Ergebnis der Untersuchungen ist, dass mit zunehmender Polarität der Lösungsmittel sowohl die Rotfärbung als auch die Langlebigkeit zunimmt. Hierbei ist beides auf die mit zunehmender Polarität stärker werdenden Wechselwirkungen zwischen den Lösungsmittelmolekülen und dem Merocyanin zurückzuführen.



**Abb. 2.4** | Durch das „Schalten“ des Spiropyrans mit UV-Licht entsteht das sogenannte Merocyanin. Die Merocyanin-Lösungen weisen je nach Polarität der Lösungsmittel unterschiedliche Färbungen auf. In dem unpolaren Xylol entsteht eine Blaufärbung (links) und mit zunehmender Polarität der Lösungsmittel nimmt die Rotfärbung der Lösungen zu. Dem zur Folge weist die Acetonitril-Spiropyran-Lösung (Mitte) eine Lilafärbung und die Ethanol-Spiropyran-Lösung (rechts) eine Pink-Färbung auf (Abbildung: Stamer).

### 2.3.3 Station 3: Alltagsschalter

Bei dieser Station, ebenfalls mit dem Schwerpunkt chemische Schalter, wird der Alltagsbezug von chemischen Schaltermolekülen hergestellt. Hierfür werden von den Schüler\*innen verschiedene Alltagsgegenstände untersucht, die chemische Schalter enthalten. Bei den untersuchten Gegenständen handelt es sich zum einen um Spielzeuge wie farbwechselnde Badeenten (Abb. 2.5) und Nagellack, und zum anderen um Gegenstände, bei denen der Farbwechsel eine bestimmte Aufgabe erfüllt, wie beispielsweise bei sich verdunkelnden Autospiegeln oder Brillen.



**Abb. 2.5** | Thermochrome Badeenten, die durch einen externen Reiz (Wärme) die Farbe wechseln (Abbildung: Stamer).

Diese Gegenstände reagieren reversibel auf die unterschiedlichen externen Reize, wie Wärme, Kälte, Licht oder elektrischen Strom. Das bedeutet, dass durch die externen Reize zunächst ein Farbwechsel stattfindet und nach dem Entfernen des externen Reizes die Gegenstände wieder ihre ursprüngliche Färbung annehmen. In dem Versuch „schalten“ Schüler\*innen die Gegenstände mit Hilfe der verschiedenen externen Reize und protokollieren die entsprechenden Beobachtungen. Die Brille verdunkelt sich beispielsweise durch UV-Licht und der Autospiegel durch elektrischen Strom. Diese Vorgänge werden abschließend auf molekularer Ebene besprochen. Dies geschieht unter anderem durch eine Bezugnahme auf das schaltbare Molekül Spiropyran, welches, wie bei der Station 2 besprochen wird, auf Licht reagiert. Als Beispiel für einen chemischen Schalter, der auf elektrischen Strom reagiert, dient das „Berliner Weiß“ (Abb. 2.6, links). Dieses wechselt durch elektrischen Strom oder genauer gesagt durch die Zugabe von Elektronen zu „Berliner Blau“ (Abb. 2.6, Mitte). Bei diesem Schaltvorgang handelt es sich um eine Reduktions-Oxidations-Reaktion. Für eine anschauliche Erklärung des Vorgangs diene ein einfaches Experiment, bestehend aus einem mit Berliner Blau beschichteten Metalllöffel, einer Hydrolyt-Lösung und einer Batterie als elektrische Stromquelle (Abb. 2.6, rechts; Nashan et al., 2007).



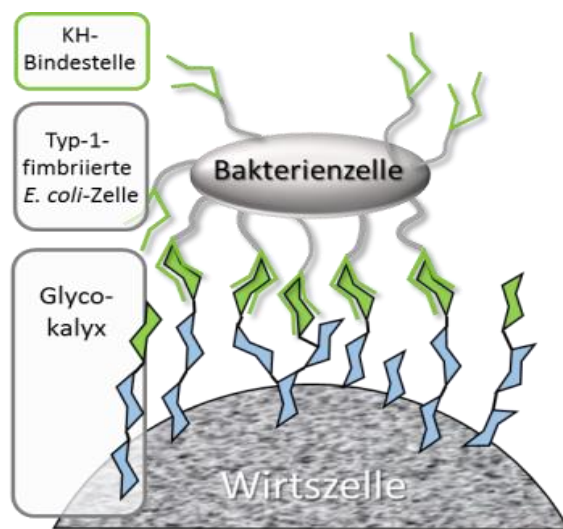
**Abb. 2.6** | Berliner Weiß (links) ist ein chemischer Schalter, der aus einem anorganischen Eisenkomplex besteht und reversibel auf elektrischen Strom, oder genauer gesagt auf Elektronen, reagiert. Bei einer Zugabe von Elektronen wird das Berliner Weiß zu Berliner Blau (Mitte) oxidiert und bei Entfernen der Stromquelle wird das Berliner Blau wieder zu Berliner Weiß reduziert. Dieser Schaltvorgang findet in einer Hydrolyt-Lösung statt, wobei eine Batterie als elektrische Stromquelle dient (Abbildungen - links & mitte: Nashan et al., 2007; Abbildung - rechts: IPN Grafikabteilung).

#### 2.3.4 Station 4: Computersimulationen

Bei der vierten Station „Computersimulationen“ handelt es sich um eine im Rahmen der Promotion neu entwickelte Versuchsstation, welche in Kapitel 4 (Publikation 1) detailliert beschrieben wird. An dieser Stelle soll nur ein kurzer Einblick in die Station gegeben werden.

Bei dem Versuch Computersimulationen wird mit zwei unterschiedlichen Simulationsprogrammen die folgende Forschungsfrage von den Schüler\*innen bearbeitet:

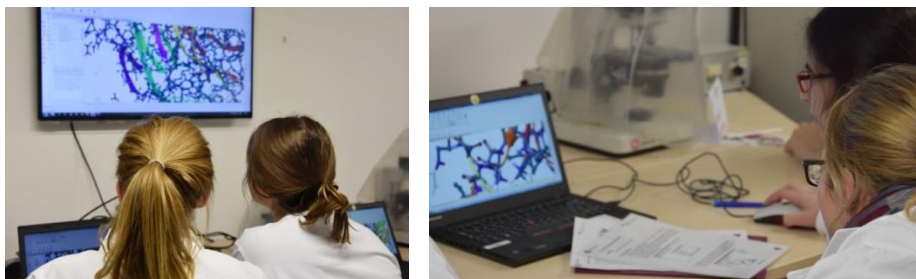
*Wie kann Anhaften des E. coli Bakteriums an menschliche Zellen verhindert werden?*



**Abb. 2.7** | Schematische Anheftung eines E. coli Bakteriums an eine menschliche Wirtszelle. Das Bakterium ist mit Typ-1-Fimbrien ausgestattet an dessen Spitzen sich sogenannte Kohlenhydrat (KH)-Bindetaschen befinden. Mit den Bindetaschen kann das E. coli Bakterium an die Glykokalyx (Zuckerstrukturen auf der Wirtszelle) anheften (Abbildung aus Lindhorst, 2007).

Bevor die Schüler\*innen damit beginnen, eine Antwort auf die Frage zu finden, informierten sie sich über das E. coli Bakterium und speziell über dessen Anhaftung an menschliche Zellen (Abb. 2.7). Nachdem die Schüler\*innen herausfinden, dass die sogenannte KH-Bindetasche des Bakteriums blockiert werden muss um dessen Anhaftung an menschliche Zellen zu verhindern, beginnen die Schüler\*innen damit die KH-Bindetasche, eine große Proteinstruktur, mit der Software *Maestro* zu simulieren und zu analysieren (Abb. 2.8). Anschließend simulieren die Schüler\*innen kleine organische Moleküle mit einer zweiten Software, *Avogadro*. Die kleinen Moleküle sollen als Gegenstück in die KH-Bindetasche hineinpassen, um diese zu blockieren, wodurch ein Anhaften an die menschlichen Zellen verhindert werden würde.

Abschließend wird besprochen, welches Molekül für die Blockierung am geeignetsten ist und welche Eigenschaften hierfür verantwortlich sind. Eine zentrale Rolle spielen hierbei die Polarität, die Form und die Größe der ausgewählten Moleküle.



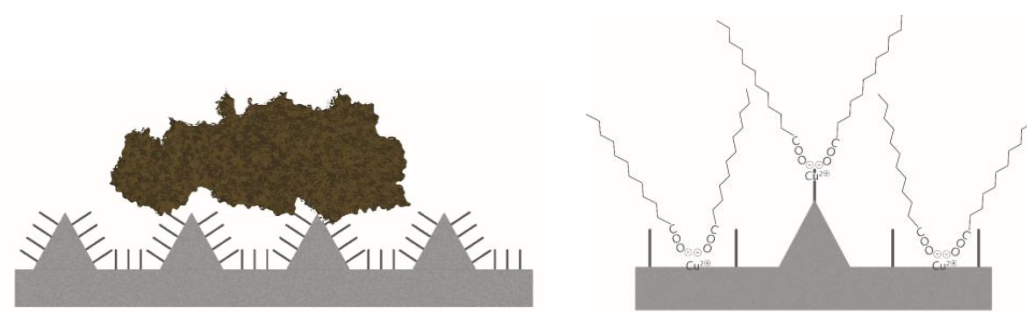
**Abb. 5.8** | Schülerinnen beim Simulieren einer Proteinstruktur mit dem Programm *Maestro* (Abbildungen: Stamer et al., 2018; Pressestelle CAU Kiel (J. Siekmann)).

Der theoretische Hintergrund dieses Versuches kann in Kapitel 4 und die Versuchsanleitungen sowie die begleitenden Aufgaben können im Anhang nachgelesen werden.

### *2.3.5 Station 5: Generierung und Untersuchung von nanostrukturierten, hydrophoben Oberflächen*

Bei der fünften Station mit dem Schwerpunkt Nanowissenschaften war es das Ziel der Schüler\*innen den Lotos-Effekt zu verstehen, eine solche selbstreinigende Oberfläche herzustellen und diese anschließend zu untersuchen.

Zu Beginn lernten die Schüler\*innen an der Station, dass die selbstreinigenden Oberflächen, anders als aus dem Alltag her vielleicht zu erwarten wäre, nicht glatt sein müssen. Vielmehr weisen diese kleinste hydrophobe Mikro- und Nanostrukturen auf, welche für den selbstreinigenden Lotos-Effekt verantwortlich sind. In Abb. 2.9 (links) wird eine solche Oberfläche dargestellt, wobei sich die Nanostrukturen (als Striche dargestellt) auf der Oberfläche der Mikrostrukturen (graue Dreiecke) befinden. Der Schmutzpartikel (braun) kann sich durch die Anordnung der hydrophoben Nanostrukturen nicht in den Zwischenräumen der Mikrostrukturen ablagern, wodurch der selbstreinigende Effekt dieser Oberfläche entsteht. Anschließend können die Schüler\*innen eine solche Oberfläche selbst herstellen. Hierfür wird eine Kuperoberfläche zunächst geschmirgelt, dann mit Isopropanol gereinigt, zu Kupferhydroxid oxidiert und anschließend mit der Fettsäure Laurinsäure funktionalisiert. Die hydrophilen Carboxylatgruppen der Laurinsäure lagern sich hierbei, wie in Abb. 2.9 (rechts) dargestellt wird, an das ebenfalls hydrophile Kupferhydroxid an, so dass die hydrophoben Ketten der Laurinsäure nach oben stehen und eine hydrophobe Oberfläche entsteht (Bethke et al., 2017).



**Abb. 2.9** | Links: Schematische Darstellung einer selbstreinigenden Oberfläche, die den Lotos-Effekt aufweist. Die Mikro- (graue dreieckige Strukturen) und Nanostrukturen (graue Striche) auf der Oberfläche sind für den selbstreinigenden Effekt verantwortlich. Rechts: Schematische Darstellung einer modifizierten Kupferoberfläche. Die Laurinsäuremoleküle, dessen hydrophoben Enden nach oben von der Oberfläche abstecken, sind für den selbstreinigenden Effekt verantwortlich (Abbildungen: Bethke et al., 2017).

Nachdem die Schüler\*innen eine solche funktionalisierte Oberfläche hergestellt haben, untersuchen sie diese mit einer Mikroskop-Kamera. Hierfür wird ein vergrößertes Foto von dem Wassertropfen auf der Oberfläche erzeugt (Abb. 2.10, Mitte). Mit Hilfe des Fotos bestimmen die Schüler\*innen mit der Software *ImageJ* den Winkel zwischen der Oberfläche und dem Wassertropfen (Abb. 2.10, links). Hierbei steigt der selbstreinigende Effekt der Oberfläche mit abnehmender Größe des Winkels.

Zusätzlich untersuchen die Schüler\*innen weitere Oberflächen, wie beispielsweise die eines echten Lotos-Blattes (Abb. 2.10, rechts). Die Winkel und beobachteten Eigenschaften der unterschiedlichen Materialien werden abschließend von den Schüler\*innen miteinander verglichen.



**Abb. 2.10** | Links: Untersuchung einer selbstreinigenden Oberfläche durch die Vermessung eines Kontaktwinkels  $\theta$ . Mitte: Aufnahme eines Wassertropfens mit einer Mikroskop-Kamera. Der Wassertropfen befindet sich auf einer oxidierten und mit Laurinsäure modifizierten, selbstreinigenden Oberfläche. Rechts: Darstellung eines Wassertropfens auf einem Lotos-Blatt (Abbildungen – links & mitte: Bethke et al., 2017; Abbildung - rechts: Stamer).

### 2.3.6 Station 6: STM- und AFM-Messungen

Bei der letzten Station mit dem Schwerpunkt Methoden & Verfahren können die Schüler\*innen die Oberflächen eines menschlichen Haares (Abb. 2.11, links) und



eines Katzenschnurrbarthaars mit einem AFM und die Oberfläche von Graphit mit einem STM vermessen und auf diese Weise „sichtbar“ machen.

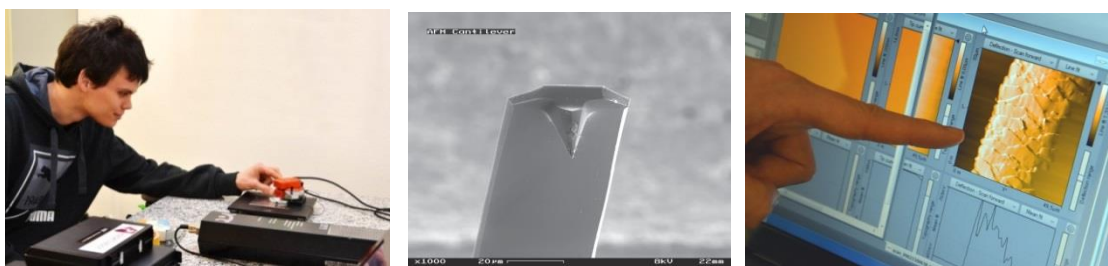
Zu Beginn informieren sich die Schüler\*innen an der Station über die Funktionsweise der beiden Mikroskope (Siehe: *Theoretische Grundlagen: AFM & STM*). Anschließend wird die Funktionsweise mit einem Experten / einer Expertin besprochen, welche\*r den Schüler\*innen zusätzlich eine umfassende Einführung in die Bedienung der Messgeräte gibt. Daraufhin können die Schüler\*innen die zu messenden Proben selbstständig präparieren und vermessen. Da die Messungen einige Minuten in Anspruch nehmen, können die Schüler\*innen währenddessen begleitende Aufgaben lösen (Anhang: Aufgabenzettel, Station 6).

### *Theoretische Grundlagen: AFM & STM*

Das Besondere bei der Vermessung von Oberflächen mit einem AFM und einem STM ist, dass die untersuchten Oberflächen durch eine Spitze abgerastert und nicht, wie bei den Lichtmikroskopen, durch optische Effekte „sichtbar gemacht“ werden.

Der Unterschied zwischen den Messungen eines AFMs und eines STMs liegt darin, dass mit einem STM elektrisch leitende Materialien, wie beispielsweise Graphitoberflächen, untersucht werden können.

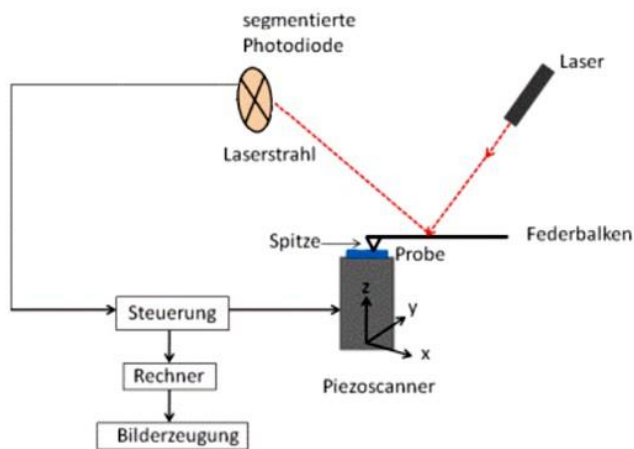
Das liegt daran, dass bei den STM-Messungen eine leitfähige Platin-Iridium-Spitze in einem Abstand von etwa einem Nanometer über die Oberfläche gleitet. Durch das Anlegen einer Spannung (etwa 100 mV) fließt ein Tunnelstrom von der Spitze in die untersuchte Oberfläche. Durch die Unebenheit der Oberfläche variiert der Abstand von der Spitze zur Oberfläche, welcher vermessen und durch Fouriertransformationen zu einem Bild umgewandelt wird.



**Abb. 2.11** | Links: Ein Schüler bereitet eine AFM-Messung vor (Abbildung: Schwarzer). Mitte: Vergrößerte Aufnahme eines Cantilevers mit dessen Spitze eine Oberfläche bei einer AFM-Messung abgerastert wird. Rechts: Ein, durch eine AFM-Messung erzeugtes, Bild von der Oberfläche eines menschlichen Haars (Abbildung - mitte: <https://de.wikipedia.org/wiki/Rasterkraftmikroskop>, Stand: 07.2019; Abbildung – rechts: Pressestelle CAU Kiel (J. Siekmann)).

Im Gegensatz dazu gleitet bei einer AFM-Messung die Spitze eines Cantilevers (Abb. 2.11, mitte) direkt, ohne einen Abstand, über die mikro- und nanostrukturierte Oberfläche. Durch die Unebenheit der Oberfläche bewegt sich die Spitze beim Abrastern leicht nach oben und unten.

Ein Laserstrahl, der auf den Cantilever strahlt, wird anschließend, wie in Abb. 2.12 schematisch dargestellt wird, gegen eine Photodiode reflektiert. Durch die Bewegungen des Cantilevers wird auch der reflektierte Laserstrahl bewegt und dessen Bewegungen werden auf der Photodiode aufgezeichnet. Mittels Fouriertransformationen werden die aufgezeichneten Bewegungen anschließend mit einem Rechner zu einem Bild umgewandelt, welches die Struktur der Oberfläche darstellt (Abb. 2.11, rechts).



**Abb. 2.12** | Schematische Darstellung der Funktionsweise eines AFMs

(© <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/rtm/rasterkraftmikroskop.htm>).





# Kapitel 3

---

## **Publikationsbasierte Umsetzung der Ziele dieser Arbeit**

In diesem Kapitel sollen fünf Publikationen, in denen die Ziele und die Ergebnisse dieser Arbeit vorgestellt werden, zusammengefasst dargestellt werden. Bei dem Inhalt der ersten Publikation handelt es sich um eine neue Versuchsstation zu Computersimulationen. In der zweiten Publikation wird eine Befragung von Forschenden und Schüler\*innen und ein Vergleich der Antworten vorgestellt. In der dritten Publikation werden die Vorarbeiten für die Videoentwicklung, die Videoentwicklung und Einbettung in die Experimentierstationen und eine Think-Aloud- & Interviewstudie zur Validierung und Optimierung der Videos dargestellt.

Diese Vorarbeiten waren für die Durchführung der Hauptstudie (vierte Publikation), eine Prä- und post-Fragebogenstudie zur Messung der Wirksamkeit der Videos, notwendig, welche anschließend vorgestellt wird. In dieser werden die Ergebnisse bezüglich der Wirkung der Videos dargestellt und evaluiert und in der darauf folgenden fünften Publikation wird die gesamte Studie zusammenfassend beschrieben. Anschließend werden in Kapitel 9 zusätzlich erhobene und ausgewertete Ergebnisse bezüglich weiterer Erwartungen und Bewertungen (Motivation, Fachwissen, Interesse, Experimentieren und Selbsttätigkeit) der Schüler\*innen vorgestellt. Auf dieses Kapitel wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen, da die entsprechenden Ergebnisse bisher nicht publiziert wurden.

### **3.1 PUBLIKATION 1**

#### **Blick in die Zukunft: Computersimulationen ergänzen die Heranführung von Schülerinnen und Schülern an naturwissenschaftliche Arbeitsweisen – CHEMKON**

In der ersten Publikation (Kapitel 4) wird eine für die Schüler\*innen neu entwickelte Versuchsstation vorgestellt. In dem Versuch arbeiten die Schüler\*innen mit zwei unterschiedlichen Programmen mit denen Moleküle simuliert und somit anschaulich dargestellt werden können. Mit Hilfe der Simulationen können Schüler\*innen eine

aktuelle Forschungsfrage bearbeiten, wodurch das für die Forschung an Bedeutung gewinnende Gebiet der theoretischen Chemie durch das Schülerlaborprogramm *klick!* authentisch abgedeckt wird.

### **3.2 PUBLIKATION 2**

#### **Scientists, Their Work, and how Others Perceive Them: Self-Perceptions of Scientists and Students' Stereotypes**

##### RESEARCH IN SUBJECT-MATTER TEACHING AND LEARNING

In der zweiten Publikation (Kapitel 5) wird zunächst die Entwicklung des RIASEC+N-Fragebogens zur Einschätzung der unterschiedlichen Tätigkeitsbereiche von Forschenden, beschrieben. Mit dem entwickelten Fragebogen wurden sowohl Schüler\*innen ( $n = 244$ ) als auch Forschende, Nachwuchs-wissenschaftler\*innen ( $n = 92$ ) und Professor\*innen ( $n = 10$ ), befragt. Die Ergebnisse der Befragung, d.h. die Schülervorstellungen bezüglich des Arbeitsalltags von Forschenden und die Selbstwahrnehmungen von Forschenden über deren eigene Arbeit, werden ebenfalls in Kapitel 5 vorgestellt und anschließend im Rahmen einer Masterarbeit von Mara Thiele (2018) miteinander verglichen. Basierend auf den Ergebnissen des Vergleichs wurden die Unterschiede in den Vorstellungen der beiden befragten Gruppen herausgearbeitet. Die daraus gewonnen Erkenntnisse dienten als Grundlage für die geplante Videoentwicklung, welche in Publikation 3 vorgestellt wird.

### **3.3 PUBLIKATION 3**

#### **Development & validation of scientific video vignettes to promote perception of authentic science in student laboratories**

##### RESEARCH IN SCIENCE & TECHNOLOGICAL EDUCATION

In der in Kapitel 6 vorgestellten Publikation werden die für die Videoproduktion notwendigen Vorarbeiten, die anschließende Videoproduktion, die Einbettung der Videos in die Versuchsstationen und die Validierung der Videos vorgestellt. Im Rahmen dessen werden sowohl qualitative als auch quantitative Ergebnisse präsentiert und diskutiert.

Bezogen auf die Vorarbeiten wird zunächst beschrieben, wie die in Publikation 2 (Kapitel 5) kategorisierten RIASEC+N-Tätigkeitsbereiche von Forschenden gezielt bei der Videoentwicklung berücksichtigt wurden. Hierfür werden die in Kapitel 5 vorgestellten Ergebnisse der Fragebogenbefragung in Kapitel 6 noch einmal kurz dargestellt, und es wird beschrieben, wie diese als Grundlage für die Videoentwicklung genutzt wurden. Außerdem werden weitere Aspekte, welche bei der Entwicklung der authentizitätsfördernden Videos berücksichtigt wurden, aufgezeigt.

Anschließend wird in Kapitel 6 auf die Einbettung der entwickelten Videos in die Versuchsstationen des *klick!labors* und die dabei berücksichtigten Aspekte eingegangen. Abschließend werden zur Optimierung und Validierung der Videos die Ergebnisse einer Think-Aloud- und einer Interviewstudie dargestellt, welche im Rahmen der Masterarbeit von Hanno Pönicke (2017) durchgeführt wurden.

### **3.4 PUBLIKATION 4**

#### **Authentic insights into science: Scientific videos in out-of-school learning environments**

INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION

In der vierten Publikation, Kapitel 7, wird die Hauptstudie, eine quantitative Prä- und Post-Befragung, vorgestellt.

Im Rahmen derer zunächst die Lernumgebung, das Schülerlaborprogramm *klick!*, die im Programm enthaltenen Versuchsstationen und die entwickelten Videos zusammenfassend beschrieben werden. Anschließend folgt eine Darstellung der Durchführung und der Ergebnisse der Hauptstudie, wobei insgesamt  $n = 236$  Schüler\*innen der Sekundarstufe II an einer Fragebogenbefragung teilnahmen. Der verwendete Fragebogen bestand aus zwei Abschnitten, der erste Abschnitt enthielt die bereits in Publikation 2 und 3 vorgestellten RIASEC+N-Dimensionen und der zweite Abschnitt sieben Items zur Messung der erwarteten und wahrgenommenen Authentizität im *klick!labor*. Zur Messung der Effekte der Videos führte die Hälfte der Schüler\*innen nur die Versuche des *klick!labors* durch, die andere Hälfte der Schüler\*innen bekam zusätzlich die Videos zu sehen.

Außerdem nahmen im Rahmen einer Masterarbeit von Marc David (2018) 33 % der befragten Schüler\*innen an einer Follow-up-Studie, zwei bis vier Monate im Anschluss an den Schülerlaborbesuch, teil. Aufgrund der geringen Stichprobengröße werden die Ergebnisse in Kapitel 7 nur kurz vorgestellt.

### **3.5 PUBLIKATION 5**

#### **Authentisches Lernen im Schülerlabor – Entwicklung und Validierung von Videos zur Förderung der authentischen Wahrnehmung von Naturwissenschaften im Schülerlaborprogramm *klick!***

MÜNSTER: WAXMANN-VERLAG

In der fünften Publikation (Kapitel 8) wird der gesamte Verlauf der Promotion, von der Fragebogen- und Videoentwicklung bis zur Messung der Wirkung der Videos, noch einmal zusammenfassend dargestellt.



# Kapitel 4

---

## PUBLIKATION 1

**Blick in die Zukunft: Computersimulationen ergänzen die Heranführung von Schülerinnen und Schülern an naturwissenschaftliche Arbeitsweisen<sup>4</sup>**

---

<sup>4</sup> Stamer, I., Beiroth, F., Schwarzer, S., Hartke, B., Lindhorst, T. K., Parchmann, I. (2018). Blick in die Zukunft: Computersimulationen ergänzen die Heranführung von Schülerinnen und Schülern an naturwissenschaftliche Arbeitsweisen. *CHEMKON - Chemie konkret*, 25 (7), 285-292. DOI: 10.1002/ckon.201800001

## 4.1 Zusammenfassung

In der Chemie ist die Synthese von chemischen Verbindungen im Labor ein zentraler Aspekt, wenngleich dieser häufig langwierig und kostspielig ist. Dank immer leistungsfähigerer Computer und immer besserer Software und Algorithmen werden Moleküle längst nicht mehr nur praktisch-experimentell untersucht. Es können beispielsweise Eigenschaften, Bewegungen und Reaktionen am Computer simuliert und vorausgesagt werden. Die theoretische Chemie ist somit ein unverzichtbares Teilgebiet der Chemie. In diesem Artikel wird ein Versuch vorgestellt, der die Simulation von Molekülen in der Schule und im Chemiestudium ermöglicht. Als konkretes Beispiel werden Moleküle untersucht, die das Anhaften von *E. coli*-Bakterien an menschliche Zellen verhindern können. Diese Forschung zielt darauf ab, Krankheiten wie Nierenbeckenentzündungen ohne Einsatz von Antibiotika erfolgreich zu therapieren.

### Abstract

A central aspect in chemistry is the synthesis of chemical compounds in laboratories, although these processes are often time consuming and expensive. Today, using increasingly more powerful computers and continuously improved software and algorithms, it is possible to analyse molecules not only in the laboratory. Instead, properties, dynamics and reactions of molecules can be predicted using computational modelling. As a subfield of chemistry, theoretical chemistry is constantly gaining importance. In this article, a simulation experiment is presented, which makes the simulation of molecules accessible for students at school and university level. As an example, the computational analysis of molecules is shown, which prevent the adhesion of *E. coli* bacteria to human cells. This research aims at treating inflammatory diseases of the urogenital tract such as cystitis without the use of antibiotics.

Stichworte: Computersimulationen, theoretische Chemie, naturwissenschaftliche Arbeitsweisen, Adhäsion von *E. coli*-Bakterien

Keywords: Computer simulations, theoretical chemistry, nature of science, adhesion of *E. coli* bacteria

## 4.2 Einleitung

Vor dem Chemiestudium ist der Bereich der theoretischen Chemie kaum einer Schülerin oder einem Schüler bekannt. Neue Angebote aus diesem Forschungsfeld haben das Potential, die Vielfalt der beruflichen Möglichkeiten eines Chemikers, vor allem für Chemie und zugleich Informatikinteressierte, darzulegen. Neben den beschriebenen Fachinhalten werden in dem im Folgenden vorgestellten Versuch naturwissenschaftliche Arbeitsweisen von Forschenden als Teil von der Natur der Naturwissenschaften an einem aktuellen Beispiel vermittelt. Für die Chemiestudierenden sowie für Chemikerinnen und Chemiker an den Universitäten ist

die theoretische Chemie neben den klassischen Fachrichtungen der physikalischen, organischen und anorganischen Chemie ebenfalls ein weiterer, bedeutender Teilbereich (Pustowka & Bader, 2007). Für die Simulation von Molekülen sind Algorithmen und Programme in großer Zahl für Anfänger wie für fortgeschrittene Nutzer vorhanden und werden beständig verbessert und weiterentwickelt. Durch die Nutzung von Computersimulationen ist es möglich Moleküle anschaulich darzustellen, Moleküleigenschaften zu berechnen und diese theoretisch vorherzusagen (Urhahne & Harms, 2006). Auf diese Weise kann die Zahl möglicher, neu zu synthetisierender Moleküle mit gewünschten Eigenschaften auf eine sinnvolle Auswahl eingeschränkt werden, so dass weniger kostspielige Laborversuche unternommen werden müssen. Es können Ressourcen geschont und folglich zu Gunsten der Umwelt weniger Chemikalien verwendet werden. Nach diesem Ansatz nutzen auch die Lernenden die Computersimulationen in dem in diesem Artikel vorgestellten Versuch. Die Begriffe Simulation und Computersimulation werden in diesem Artikel demzufolge verwendet, um die Veranschaulichung von Molekülen zu beschreiben, welche den Erkenntnisgewinn durch die Interaktivität der Lernenden beinhaltet (Urhahne & Harms, 2006). Unter den zahlreichen verfügbaren Computerprogrammen zur Simulation von Molekülen sind auch einige, die besonders anwenderfreundlich und frei erhältlich sind. Für den Einsatz von Simulationsprogrammen in der Schule sind darüber hinaus folgende Aspekte wichtig: Eine vollständige Simulation aller relevanten Teilchen (Elektronen, Atomkerne) ohne weitere Annahmen (ab-initio-Quantenchemie) ist für Moleküle interessanter Größe rechnerisch zu aufwendig und damit zu langwierig. Prinzipiell wären solche Rechnungen eigentlich wünschenswert, da sie Resultate liefern können, die sehr gut mit experimentellen Werten übereinstimmen. Mit sogenannten Kraftfeldern<sup>[1]</sup> als approximatives Modell werden die Rechnungen 4-6 Größenordnungen schneller, da auf eine explizite Behandlung der Elektronen verzichtet wird. Dies ermöglicht sinnvolle Rechnungen innerhalb weniger Sekunden oder Minuten, die dank moderner Kraftfelder trotzdem zumindest qualitativ richtige Resultate liefern können, auch wenn aufgrund der grundsätzlich approximativen Behandlung eine exakte Übereinstimmung mit dem Experiment in der Regel nicht erwartet werden kann. Um den Umgang mit einem Molekülsimulationsprogramm für Anfänger zu erleichtern, ist es außerdem nützlich, eine gute grafische Benutzeroberfläche (graphical user interface, GUI) zur Verfügung zu haben, die es erlaubt, die Simulation auf einfache Weise zu starten und darüber hinaus die Ein- und Ausgabe anschaulich-bildlich darzustellen. Solche Kombinationen von Kraftfeldsimulationsprogrammen und guten GUIs stellen daher eine Option für den Einsatz in der Oberstufe, an außerschulischen Lernorten und als ergänzende Enrichment-Angebote, wie Lerngelegenheiten am Nachmittag, dar.

Den Schülerinnen und Schülern wird durch die Computersimulationen der Zugang zu Versuchen, bei denen sie selbstständig bestimmte Variablen kontrollieren können, ermöglicht, die anderweitig zu teuer, zu gefährlich, zu komplex, submikroskopisch klein oder in anderer Weise schlecht darzustellen sind (Urhahne & Harms, 2006).

Außerdem schafft die theoretische Chemie mittels neuer Medien eine Verbindung zwischen aktueller Fachwissenschaft und dem Lernort Schule. Allerdings führt ein ausschließlich auf das selbstständige Erarbeiten von Prinzipien und Konzepten ausgerichtetes Lernen mit Computersimulationen in der Regel nicht zu den gewünschten Lernerfolgen (Leutner, 1993; Stark et al., 1995; Swaak & de Jong, 2001a; Mayer, 2004).

Die Lernumgebung und die Aufgaben müssen daher so gestaltet sein, dass das hohe Maß an Komplexität durch eine geeignete Heranführung und Hilfestellungen gut zu bewältigen ist (Urhahne & Harms, 2006).

Aufgrund dessen wurde bei der Entwicklung des vorgestellten Schülerversuches darauf geachtet, dass das recht komplexe Themengebiet der theoretischen Chemie für die Schülerinnen und Schüler gut strukturiert und mit eindeutigen Fragestellungen verständlich gemacht wird. Es wurden Computerprogramme für den Versuch ausgewählt, deren GUIs übersichtlich gestaltet sind und in unterschiedlichen Lernorten wie Schule, Schülerlabor oder in den ersten Semestern eines Studiums an der Universität Einsatz finden können. Eines dieser Programme ist Avogadro (<https://avogadro.cc/>), welches für die Nutzung durch Schülerinnen und Schüler sowie Studierende entwickelt wurde (Curtis et al., 2012). Es bietet neben einer intuitiv bedienbaren GUI die Möglichkeit, Molekülstrukturen mit dem UFF-Kraftfeld zu optimieren. Dies erlaubt es zum Beispiel, realistische Strukturen kleinerer Moleküle wie Alkane darzustellen. Ein weiteres, für den Einsatz an der Schule interessantes Programmpaket ist das der Firma Schrödinger (LLC), welches aus verschiedenen Unterprogrammen für unterschiedliche Anwendungen besteht. Es enthält unter anderem die GUI Schrödinger-Maestro (Schrödinger Release: Maestro, 2016; <https://www.schrodinger.com/maestro>), die auch die Möglichkeit der fortgeschrittenen und aufwendigeren Darstellungen größerer Moleküle, wie etwa Proteine, bietet und außerdem das Kraftfeldpaket MacroModel enthält, das nicht nur die Optimierung von Molekülstrukturen erlaubt, sondern auch Simulationen des zeitlichen Verhaltens großer Moleküle oder Molekülsammlungen (Moleküldynamik). Auch für dieses Programmpaket gibt es eine frei erhältliche Version, bei der die Anwendungen allerdings nur eingeschränkt nutzbar sind. Für die aufwendigeren Berechnungen wird eine entsprechende Lizenz benötigt. Für den im Folgenden vorgestellten Versuch sind die Anwendungen der kostenfreien Version jedoch ausreichend und gerade wegen der übersichtlichen und optisch ansprechenden Benutzeroberfläche gut für die Schule geeignet. Die Schülerinnen und Schüler können mit der Software beispielsweise den Aufbau von Proteinstrukturen durch eine dreidimensionale Darstellung genauestens untersuchen und nachvollziehen. Der vorgestellte Versuch hat einen biologischen Hintergrund: Es wird untersucht, wie Krankheiten, die durch das Darmbakterium *E. coli* verursacht werden, verhindert werden können. Somit kann das Computerprogramm in Chemie- und Biologie-Profilen Anwendung finden.

In Kiel wird der Versuch im Rahmen des Schülerlaborprogramms *klick!* des SFB 677 „Funktion durch Schalten“ eingesetzt (Schwarzer, Rudnik & Parchmann, 2013;



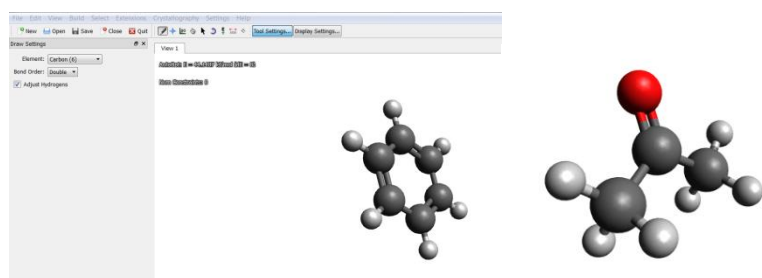
Schwarzer, Itzek-Greulich, 2015). Folglich handelt es sich um ein Schülerlabor zur Wissenschaftskommunikation, das explizit Themen und Methoden aktueller Fachforschung vermitteln möchte (Haupt et al., 2013) und in einer Promotionsarbeit zur Wirksamkeit einer authentischen Vermittlung von Wissenschaft beforscht wird. Im Rahmen dessen wurden Videos zusammen mit Forschenden des SFB über deren Arbeit entwickelt und in die Stationen im *klick!* integriert. Der durch die Videos gegebene Einblick in die Forschung soll, in Kombination mit den Versuchen, die authentische Wahrnehmung von Wissenschaften im Schülerlabor fördern und auf diese Weise ein Ziel von Schülerlaboren erfüllen (Euler, 2005).

## 4.3 Software für Computersimulationen

### 4.3.1 Funktionen und Möglichkeiten von Avogadro

Die kostenfreie Software Avogadro ist verhältnismäßig unkompliziert in der Anwendung (Curtis et al., 2012) und aufgrund dessen nicht nur für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, sondern auch für die Nutzung durch Schülerinnen und Schüler geeignet. Für die Anwender ermöglicht Avogadro unter anderem, Moleküle selbst zu erstellen, wobei nicht nur die gängigen organischen Elemente wie Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff, sondern ebenfalls alle weiteren Elemente für die Erstellung der Moleküle ausgewählt werden können. Anschließend kann die erstellte Verbindung optimiert werden. Das bedeutet, dass die Bindungslängen, die Winkel zwischen den Atomen sowie die Abstände der Atome einen realistischen Wert annehmen. Somit entsteht eine Struktur, die mit einer höheren Wahrscheinlichkeit mit experimentellen Daten übereinstimmt, als die zuvor nicht optimierte Struktur.

Die erstellten Verbindungen können von den Schülerinnen und Schülern in der Programmumgebung gedreht und gezoomt werden, wodurch es ihnen möglich ist, eine Vorstellung der räumlichen Struktur des Moleküls zu erhalten (Abb. 4.1).

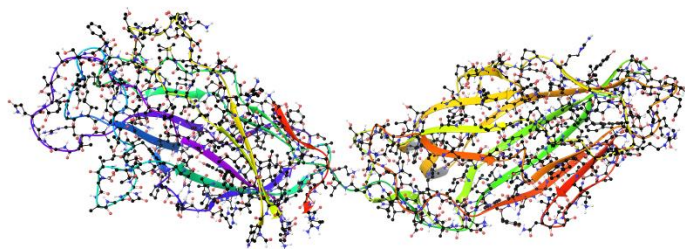


**Abb. 4.1** | Mit Avogadro erstellte und optimierte Moleküle. Links: ein planares Benzolmolekül; Rechts: eine dreidimensionale Darstellung eines Acetonmoleküls.

### 4.3.2 Funktionen und Möglichkeiten von Maestro/Schrödinger

Das Programmpaket Schrödinger wird seit 1990 entwickelt (Business Week Company Profile: Schrödinger, 2013; Schrödinger, 2016), um Biomoleküle wie

Proteine und Enzyme anschaulich simulieren zu können. Durch die zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten des Programmes können neben den komplexen Biomolekülen auch kleine Moleküle untersucht werden, weshalb es in vielen Bereichen, wie beispielsweise der Pharmazie, der Biotechnologie, der organischen Chemie sowie in den Materialwissenschaften Anwendung findet. Die übersichtlich gestaltete GUI Maestro ermöglicht es den Anwendern, ohne explizite Kenntnisse in theoretischer Chemie das Programm zu bedienen. Es können z. B. Moleküldynamiken, also die Bewegung der Moleküle sowie Eigenschaften wie die Polarität und sogenannte Docking Scores, welche angeben, wie gut ein Inhibitor an einer aktiven Stelle eines Enzyms bindet, berechnet werden. Die Strukturen der Biomoleküle werden für die Simulationen als Röntgenkristallstrukturen aus einer kostenfreien RCSB-Proteindatenbank (PDB) (Berman et al., 2000) in das Programm importiert und dann in Maestro dargestellt (Abb. 4.2).



**Abb. 4.2** | In Maestro dargestellte Proteinstruktur des Proteins FimH eines *E. coli*-Bakteriums. Die Röntgenkristallstruktur stammt aus der kostenfreien RCSB-Proteindatenbank (PDB Code: 1KLF).

## 4.4 Molekülsimulationen im Schülerlabor

### 4.4.1 Fachlicher Hintergrund und didaktische Konzeption

Der Versuch wurde für die 10.-13. Klassenstufe entwickelt und wird derzeit von Schülerinnen und Schülern durchgeführt, die im Klassenverbund das Schülerlaborprogramm *klick!* in der *Kieler Forschungswerkstatt* besuchen. Ein Ziel des Laborprogrammes ist es, die Schülerinnen und Schüler weitestgehend selbstständig arbeiten und experimentieren zu lassen. Aufgrund dessen werden sie zu Beginn des Labortages in kleine Gruppen eingeteilt und durchlaufen anschließend sechs angebotene Stationen mit unterschiedlichen Versuchen, welche bereits in der Chemkon vorgestellt wurden (Schwarzer, Rudnik & Parchmann, 2013) und in Tab. 4.1 dargestellt sind.

**Tab. 4.1** | Versuche die im Schülerlaborprogramm *klick!* angeboten werden. Bei dem Versuch 4 handelt es sich um den hier vorgestellten Versuch.

Versuch 1	Herstellung von Goldnanopartikeln im Leidenfrost-Reaktor
Versuch 2	Reversibles Schalten des chemischen Schalters Spiropyran mit UV-Licht
Versuch 3	Versuche mit Alltagsgegenständen, welche chemischen Schalter enthalten
Versuch 4	Simulation von Molekülen am Computer
Versuch 5	Messung der Kontaktwinkel von Wassertropfen auf modifizierten Kupferoberflächen
Versuch 6	Vermessung der Oberfläche eines menschlichen Haares mit einem Rasterkraftmikroskop

An den einzelnen Stationen können die Schülerinnen und Schüler den hier vorgestellten Versuch jeweils zu zweit an Computern mit entsprechender Software durchführen, wobei sie an jeder Station von einem Betreuenden begleitet werden (Abb. 4.3).

Bevor die Schülerinnen und Schüler jedoch mit der Simulation von Molekülen beginnen, wird ihnen ein Überblick über den fachlichen biochemischen Hintergrund vermittelt. Hierbei geht es, wie oben erwähnt, um das Bakterium *E. coli*, s. Kasten 1.



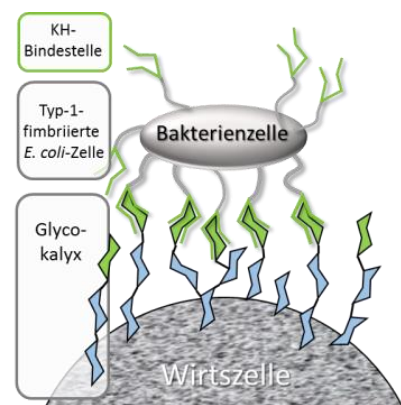
**Abb. 4.4** | Schülerinnen während der Simulation von einer Proteinstruktur mit dem Programm Maestro mit dem Ziel, Eigenschaften wie die Polarität, anhand der in der Proteinstruktur vorkommenden Elemente, zu ermitteln.

Das hier geschilderte Forschungsgebiet der zuckerspezifischen bakteriellen Adhäsion wird in der Arbeitsgruppe von Frau Prof. Dr. Lindhorst an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel bearbeitet. So erhalten Schülerinnen und Schüler Kontakt mit aktueller Forschung (vgl. <https://vimeo.com/45564501>). Gerade für die Oberstufe bedeutet dies einen Einblick in aktuelle Wissenschaft und liefert somit einen wichtigen Beitrag für die spätere Berufsorientierung. Die Schülerinnen und Schüler erfahren, dass Chemikerinnen und Chemiker nicht unbedingt immer im Labor stehen,

sondern auch z.B. am Computer Simulationsprogramme schreiben oder computerunterstützt Berechnungen durchführen.

Kasten 1: Allgemein übertrifft die Anzahl an Bakterien, die einen Organismus besiedeln, mit etwa 100 Billionen die Anzahl an körpereigenen Zellen um das Zehnfache (Köhler, 2011). Einige dieser Bakterien sind für uns lebensnotwendig. Die lebensnotwendigen Bakterien befinden sich allerdings nicht in beliebigen Organen, sondern je nach Art des Bakteriums an bestimmten Orten des Wirtsorganismus, an denen die richtigen Bedingungen für eine gesunde Symbiose vorliegen. Wie solche Mikroorganismen genau entstehen und funktionieren, damit beschäftigen sich derzeit auch die Forschenden des SFB (Sonderforschungsbereichs) 1182 an der CAU Kiel (<https://www.metaorganism-research.com/>). Das in diesem Versuch relevante Bakterium *Escherichia coli* (*E. coli*) (Escherich, 1885), welches nach Theodor Escherich benannt wurde, hat im Darm seinen natürlichen Lebensraum und ist dort für die Verdauung und eine gesunde Darmflora essenziell (Brechner, Dinkelaker & Dreesmann, 2001). Gelangt das Bakterium allerdings in andere Organe, verändert es sich und kann zu Entzündungen führen. Verwandte der Darmbakterien, die uropathogenen *E. coli*, kurz UPEC, können schwerwiegende Harnwegserkrankungen wie Nierenbecken- und Blasenentzündungen hervorrufen (Sgouros & Bergele, 2006; Lindhorst & Hartmann, 2009). Die UPEC besitzen, wie viele andere Bakterien auch, hunderte haarähnlicher Proteinanhängsel auf ihrer Oberfläche, die Fimbrien genannt werden. Fimbrien sind adhäsive Organellen, d.h., sie ermöglichen das Anhaften der Bakterienzelle an den Zuckermantel, der alle menschlichen Zellen umgibt (Abb. 4.3) (Garrett, Bhakoo & Zhang, 2008). Dieser Zuckermantel wird „Glycokalyx“ genannt. Bei dieser sogenannten Adhäsion der Bakterien spielt das Protein FimH eine wichtige Rolle (vgl. Abb. 4.2), weil es bestimmte Zucker-Strukturen der Glycokalyx erkennt und als Ankergruppen verwenden kann. Dies führt in der Folge zur Ausbildung von Biofilmen an der Oberfläche von Zellen, was die oben erwähnten entzündlichen Reaktionen des Wirtorganismus zur Folge haben kann. Wenn man die bakterielle Adhäsion an die menschlichen Zellen gezielt kontrollieren kann, ist dies eine therapeutische Möglichkeit gegen Entzündungskrankheiten. Schülerinnen und Schüler werden in dem Versuch, wie in den folgenden Abschnitten beschrieben, schrittweise an die wissenschaftliche Fragestellung herangeführt und können dann selbst mit Hilfe der Computersimulationen kreativ werden und nach Problemlösungen suchen.

**Abb. 4.3** | Schematische Darstellung der Anheftung eines *E. coli*-Bakteriums an eine menschliche Wirtszelle. Die Adhäsion ist von einem multivalenten Prozess vermittelt, in dem spezielle Proteine an den Fimbrienspitzen, wie das FimH, Zuckerstrukturen der Wirtszell-Glycokalyx erkennen und daran binden (Escherich, 1885; Brechner, Dinkelaker & Dreesmann, 2001). Dafür ist jedes FimH-Protein mit einer spezifischen Bindestelle ausgestattet.



Die Aufgaben, die zu dem Forschungsgebiet der bakteriellen Adhäsion gehören, sind an der Station so aufeinander aufbauend formuliert, dass ein selbstständiges Erarbeiten durch die Schülergruppen ermöglicht wird. Durch diese Struktur können sich die Schülerinnen und Schüler in die Rolle des Forschenden hineinversetzen und durchlaufen ein breites Spektrum typischer Phasen und Tätigkeiten naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen (Lederman, 2006; Wentorf, Höffler & Parchmann, 2015). Es sind u.a. folgende Aspekte im Versuch vertreten: Schülerinnen und Schüler arbeiten in einer Gruppe zusammen, werden kreativ und überlegen, wie sie die Fragestellungen mit Hilfe von Computersimulationen beantworten können. Hierfür simulieren sie Moleküle am Computer, um Vorhersagen für weitere Untersuchungen treffen zu können. Zur genaueren Untersuchung, inwieweit die Tätigkeitsbereiche von Forschenden durch die Lernenden wahrgenommen werden und welchen Einfluss dies auf die wahrgenommene Authentizität der Lernenden hat, wurden zur Evaluierung des Laborprogrammes Schulklassen quantitativ befragt. Die Ergebnisse der angesprochenen Studie werden in weiteren Veröffentlichungen vorgestellt (Stamer, Parchman & Schwarzer, 2017). An dieser Stelle soll nur eine der sechs Versuchsstationen im Schülerlabor vorgestellt werden. Die weiteren Versuche, die den Schülerinnen und Schülern im *klick!* angeboten werden sind in Tab. 4.1 dargestellt.

#### 4.4.2 Einsatz von Computersimulationen

Begonnen wird die Station mit einem kurzen, theoretischen Hintergrund über *E. coli*-Bakterien, welche durch das Anhaften an menschliche Zellen (Adhäsion) entzündliche Krankheiten verursachen können. Hierbei ergibt sich die folgende Forschungsfrage, vgl. Kasten 1:

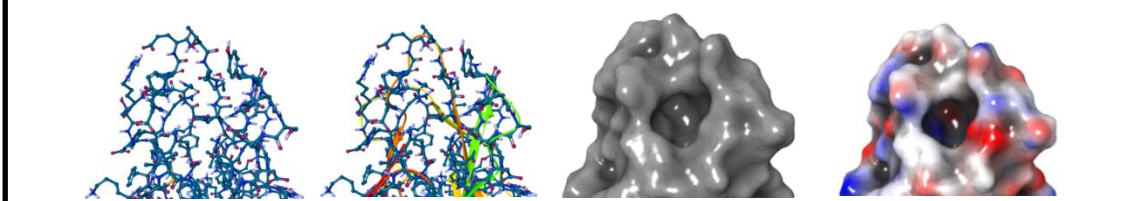
„Wie kann das Anhaften der Bakterien an menschliche Zellen verhindert werden?“

Anschließend überlegen die Schülerinnen und Schüler, welche Möglichkeiten es dazu geben könnte (Aufgabe 1). Häufig werden Lösungsansätze wie das „Abschneiden“ der Bindetaschen von den Bakterien oder das Blockieren der Bindetaschen genannt.

Die meisten Schülergruppen kommen schnell selbst auf den Gedanken, dass sowohl das Entfernen der Bindetaschen von den Bakterien als auch das Stutzen des Zuckermantels der menschlichen Zellen gravierende unerwünschte Folgen haben könnte, weshalb den meisten das Blockieren der Bindetasche als sinnvolle Lösung erscheint.

Daraufhin folgen die beiden nächsten Aufgaben, bei denen die Computerprogramme beim Lösen behilflich sind. Zum einen wird die Bindetasche von FimH, einer komplexen Proteinstruktur, am Computer simuliert, zum anderen werden kleine organische Moleküle als Gegenstücke, die in die Bindetasche passen könnten – sogenannte Liganden –, simuliert. Diese Liganden sollen möglichst nicht toxisch und im Labor herstellbar sein. Beim Betrachten der FimH-Bindetasche können die Schülerinnen und Schüler eine Oberfläche über die Proteinstruktur legen, wodurch die Bindetasche besser sichtbar wird (vgl. Kasten 2).

Kasten 2: Wie bei den konventionell gezeichneten Molekülen gibt es auch bei der Simulation von Molekülen unterschiedliche Darstellungsformen. Je nachdem wie komplex ein Molekül ist oder welche seiner Moleküleigenschaften hervorgehoben werden sollen, eignen sich unterschiedliche Repräsentationen. Bei der Kugel-Stäbchen Darstellung (Abb. links) ist jedes Atom erkennbar, wobei diese je nach Element eine andere Farbe aufweisen. Weiteres, wie die Sekundärstruktur des Proteins, ist in dieser Darstellung allerdings nicht zu erkennen. Damit diese, also der Verlauf der Aminosäurekette (Abb. Mitte-links), kenntlich gemacht wird, kann die Sekundärstruktur in Form von Pfeilen dargestellt werden. Um die Bindetasche des Proteins „sichtbar“ zu machen, ist es bei solch komplexen Molekülen wie dem adhäsiven Protein FimH des *E. coli*-Bakteriums sinnvoll, dieses übersichtlicher zu gestalten, indem eine Art Decke beziehungsweise Oberfläche über die Struktur gelegt wird (Abb. Mitte-rechts). Die sogenannte Connolly Surface ist eine simulierte Oberfläche, die in einem Abstand eines Wassermoleküls ( $d = 1,4 \text{ \AA}$ ) die Lösungsmittelmoleküle, die mit dem Protein wechselwirken, berücksichtigt (Connolly, 1983). Anschließend können noch weitere Eigenschaften wie die Ladungsverteilung, das heißt die elektronenreichen Gebiete (rot) und diese mit einer geringen Elektronendichte (blau), berechnet und farblich hervorgehoben werden (Abb. rechts).



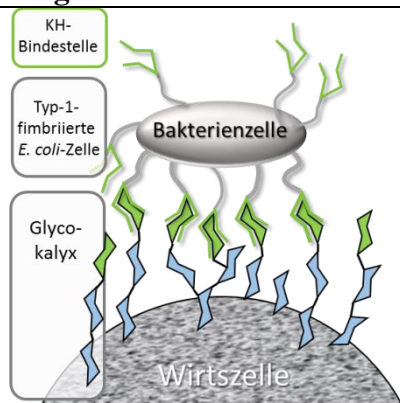
Darauf basierend können in Aufgabe 2 Eigenschaften wie die Größe von etwa einem Nanometer, die kugelförmige Struktur und die starke Polarität der Bindetasche ermittelt werden. Die Schülerinnen und Schüler schlussfolgern daraus, welche Eigenschaften das kleine Molekül, das als Ligand für das Protein FimH dienen soll, aufweisen muss, um die FimH-Bindetasche blockieren zu können. Als Hilfestellung stehen den Schülerinnen und Schülern in Aufgabe 3 sechs kleine organische Moleküle mit unterschiedlichen Eigenschaften zur Auswahl. Mittels der Simulationen in Avogadro ist es den Schülerinnen und Schülern bei dieser Aufgabe möglich, ein geeignetes Molekül für die Blockierung der Bindetasche zu wählen. Bei dem Molekül A (Tab. 4.2, Aufgabe 3) handelt es sich um das Disaccharid Cellobiose. Durch seine acht Hydroxygruppen hat Cellobiose besonders hydrophile Eigenschaften und passt mit seiner Polarität gut zur Polarität des Proteins FimH. Allerdings ist es nicht kugelförmig und zu groß, um in die Bindetasche hineinzupassen. Bei dem Molekül B, einem Glycol, handelt es sich ebenfalls um ein polares und nicht kugelförmiges Molekül, das zudem zu lang ist, um in die FimH-Bindetasche zu passen, wodurch auch das Molekül B als FimH-Ligand ausgeschlossen werden kann. Bei Betrachtung des Moleküls C nehmen viele Schülerinnen und Schüler zunächst an, dass dieses Molekül in die Bindetasche passt, da es nicht nur polar ist, sondern auch die richtige Größe aufweist und scheinbar kugelförmig ist. Durch die Computersimulationen bemerken die Schülerinnen und Schüler allerdings recht schnell, dass der Benzolring zweidimensional und daher nicht kugelförmig ist. Das Molekül D ist dagegen zwar kugelförmig und etwa 1 Nanometer groß, aber es ist unpolar, weshalb es keine Bindung mit der polaren Bindetasche des untersuchten Proteins FimH eingehen kann. Das Molekül E, ein Monosaccharid, ähnelt dem Molekül D. Durch die Hydroxygruppen weist es



allerdings eine starke Polarität auf, weshalb es alle drei benötigten Eigenschaften besitzt, die ein guter FimH-Ligand aufweisen muss. Das letzte Molekül F ist dagegen wieder unpolar, weshalb dieses die FimH-Bindetasche nicht blockieren kann. Abschließend kann das Blockieren der Bindetasche des *E. coli*-Bakteriums durch das Molekül E mit Hilfe des Programmes Maestro/Schrödinger, wie in Abb. 4.5 dargestellt, simuliert werden.

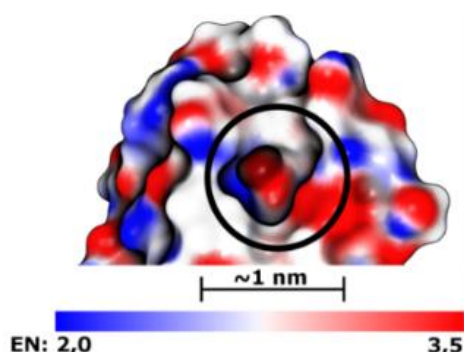
**Tab. 4.2** | Begleitende Aufgaben zu dem Versuch.

### Aufgabe vor den Simulationen am Computer:



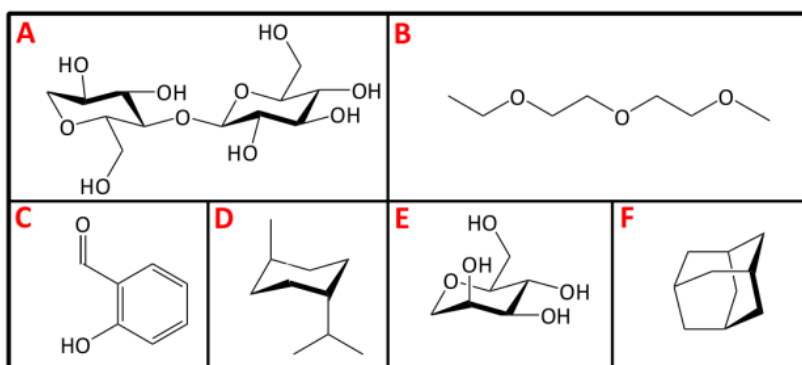
**Aufgabe 1:** In der Abbildung (links) ist zu sehen, wie eine Bakterienzelle mit Hilfe von sogenannten „KH-Bindestellen“ an dem Zuckermantel, auch Glycokalyx, einer menschlichen Wirtszelle anhaftet. Überlege, wie das Anhaften verhindert werden könnte (Lindhorst, 2007).

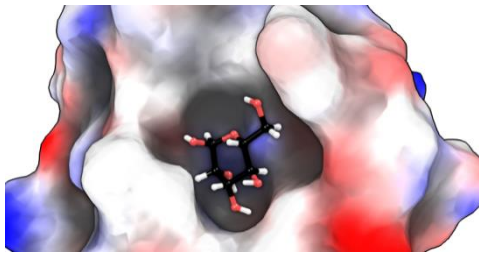
### Aufgaben während der Simulationen mit dem Computerprogramm Maestro:



**Aufgabe 2:** Analysiere die Bindestelle (Abb. 4.3 + Computersimulation) und notiere, welche Eigenschaften diese aufweist (Größe, Ladungsverteilung, Form etc.). Betrachte die Bindetasche zusätzlich mit dem Computerprogramm **Maestro**.

**Aufgabe 3:** Die ermittelten Eigenschaften aus Aufgabe 2 sind für die Bindung des Moleküls in die Bindetasche des Proteins FimH notwendig. Ermittle, welche der gezeigten Verbindungen (A-F) die in Aufgabe 2 notierten Eigenschaften aufweist. Betrachte die Moleküle zusätzlich mit dem Programm **Avogadro**.

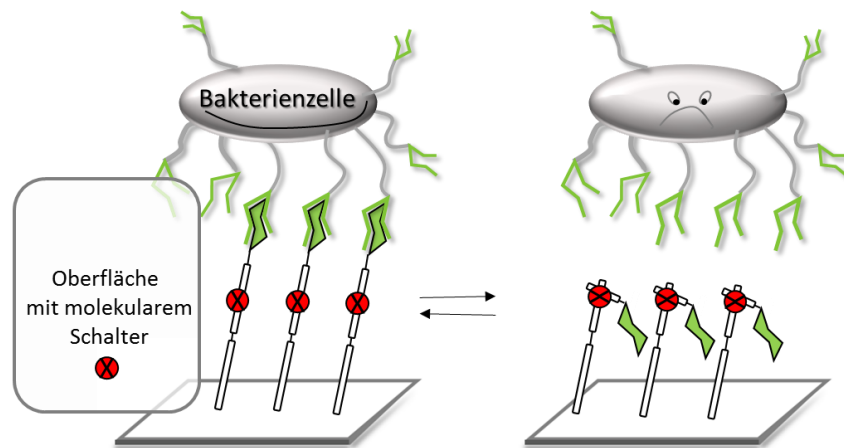




**Abb. 4.5** | Blockierung der Bindetasche des *E. coli* Bakteriums durch das Molekül E aus Aufgabe 3 (vgl. Tab. 4.1).

Für die besonders motivierten Schülerinnen und Schüler gibt es noch weiterführende Zusatzaufgaben, bei denen sogenannte molekulare Schalter des Sonderforschungsbereiches (SFB) 677 „Funktion durch Schalten“ der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel eingesetzt werden. Molekulare Schalter sind Moleküle, die durch externe Reize wie Licht einer bestimmten Wellenlänge ihren Zustand und somit auch bestimmte Eigenschaften ändern. In der vorgestellten Aufgabe werden molekulare Schalter eingesetzt, um die Funktion der Bakterien mit Licht als Energiequelle kontrollieren zu können (Abb. 4.6) (Weber et al., 2014). Folgende Fragestellung galt es zu beantworten:

„Wie ist es mit Hilfe eines molekularen Schalters möglich, die Funktion des Bakteriums zu steuern, so dass eine Anhaftung des Bakteriums an eine menschliche Zelle möglich ist oder durch das Blockieren der Bindetasche verhindert wird?“



**Abb. 4.6** | Die an einer Oberfläche fixierten molekularen Schalter lassen das Binden des *E. coli* Bakteriums an der kleinen molekularen Einheit (grün) im gestreckten Zustand (links) zu. Im gebogenen Zustand des molekularen Schalters (rechts) kann das Bakterium kaum noch an der Oberfläche binden (Weber et al., 2014).

## 4.5 Fazit

Der vorgestellte Versuch bietet Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, einen Einblick in die Welt der modernen chemischen Forschung zu erhalten. Moleküle werden zur Veranschaulichung nicht mehr ausschließlich mit Zettel und Stift gezeichnet, sondern können durch Computersimulationen „sichtbar gemacht“



werden. Nicht unerwartet zeigen Studien mit ähnlichen Simulationsprogrammen beispielsweise in Israel, Spanien und Schweden positive Lernerfolge bei Schülerinnen und Schülern (Zohar & Levy, 2015; Levkovich & Yarden, 2017; Herraes, 2006; Schonborn & Anderson, 2010). Dort werden unter anderem Grundprobleme wie das Verständnis von chemischen Bindungen und das dynamische Gleichgewicht zwischen anziehenden und abstoßenden Kräften durch Simulationen anschaulich erklärt (Zohar & Levy, 2015). Ähnliches konnte in dem vorgestellten Versuch beobachtet werden: Durch die unterschiedlichen Darstellungsformen der simulierten Moleküle werden gezielt Lerninhalte des Lehrplans wie die Eigenschaften unterschiedlicher Elemente, deren Bindigkeit, die räumliche Anordnung der Atome sowie der Aufbau von Proteinstrukturen näher gebracht (Ministerium f\_r Schule und Berufsbildung des Landes Schleswig-Holstein, 2016). Darüber hinaus lernen die Schülerinnen und Schüler ein neues Berufsfeld kennen, welches neue Tätigkeitsbereiche umfasst, und gleichzeitig üben sie durch die selbstständige Arbeit mit den Simulationsprogrammen den Umgang mit neuen Medien.

Viele Schülerinnen und Schüler lernen so ein für sie neues Gebiet der Chemie kennen und finden es spannend, die dreidimensionalen Strukturen durch Rotieren und Zoomen betrachten zu können. So berichtete eine Schülerin gegenüber einer Pressesprecherin, die das Programm für einen Tag begleitete, Folgendes:

„Als ich gelesen habe, dass es hier um theoretische Chemie geht, habe ich erst gedacht, das könnte langweilig werden. Aber es war spannend, durch die Computersimulation etwas zu sehen, was sonst gar nicht sichtbar ist.“ Schülerin, 12. Klasse, Gymnasium.

Durch die Verwendung altersgerechter Simulationsprogramme und die strukturierten aufeinander aufbauenden Aufgaben ist dieses komplexe Themengebiet für die Schülerinnen und Schüler eine gute Gelegenheit, die theoretische Chemie kennenzulernen. Auf diese Weise sollte es möglich sein, das selbstständige Erforschen, sowie motiviertes Nachdenken und Entdecken bei den Schülerinnen und Schülern anzuregen und zu fördern.

„Dass wir hier selbst ausprobieren können, nimmt die Angst vor Chemie. Ich dachte erst, wie soll ich das mit der Computersimulation schaffen, aber dann war es gar nicht so schwierig.“ Schülerin, 12. Klasse, Gymnasium.

Projekte wie dieses werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft als Teilprojekte für Öffentlichkeitsarbeit (TPÖ) gefördert, um die breite Öffentlichkeit über den aktuellen Stand der Forschung zu informieren. Der vorgestellte Versuch soll somit einen Einblick in die Forschung geben und für die Sichtbarkeit bei potentielltem Nachwuchs sorgen (Schwarzer, Rudnik & Parchmann, 2013).



# Kapitel 5

---

## **PUBLIKATION 2**

### **Scientists, Their Work, and how Others Perceive Them: Self-Perceptions of Scientists and Students' Stereotypes<sup>5</sup>**

---

<sup>5</sup> Stamer, I., Kubsch, M., Thiele, M., Höffler, T. N., Schwarzer, S. & Parchmann, I. Scientists, Their Work, and how Others Perceive Them: Self-Perceptions of Scientists and Students' Stereotypes. Unpublished manuscript, Leibniz Institute for Science and Mathematics Education at the University of Kiel. Manuscript accepted for publication

## 5.1 Abstract

Stereotypes are simplifications of complex characteristics of groups of persons and are common and widespread through media as well as everyday experiences. Especially regarding occupational groups stereotypes can be a problem because many young people base their occupational choices on these simplified conceptions. It is thus important to comprehensively depict scientists' fields of activities. Therefore, we categorized typical scientific activities into the so-called RIASEC+N dimensions. Based on these dimensions, we investigated the self-perceptions of junior scientists ( $n = 92$ ) and professors ( $n = 10$ ) about their own work and compared these perceptions with the perceptions of school students ranging from grades 10 – 13 ( $n = 244$ ). The results show differences between some scientific activity fields for the three groups. For example, students tend to underestimate creative and social aspects of typical scientists' work fields and hold rather stereotypical views. Thus, interventions to promote an authentic image of science are needed.

Nature of scientific inquiry, vocational fields, stereotypes

## 5.2 Motivation

When people are asked to think of a “typical scientist”, they often describe incomplete or simply wrong notions. They typically associate scientists with a “man in a white lab coat with a beard. He is presumed to work in a laboratory all day, is intelligent, always busy and his work is possibly dangerous.” (Höttecke, 2004; Tintori & Palomba, 2017; Höttecke & Hopf, 2018) – Even though of course, the field of science and scientists is much more diverse. Furthermore, researchers and scientists are mostly associated with STEM, yet there are many researchers in other fields such as historians, linguists, or economists. Such stereotypical conceptions of scientists might stem from everyday experiences, as well as media, such as films, televisions and comics (Driver et al., 1996). A closer examination shows that there is more than one stereotype and also mixed versions of these defined types (Solomon, Scott & Duveen, 1994; Stamer et al., 2019). Most of the described stereotypes include aspects typical for working in a laboratory, such as performing experiments, working with special devices and wearing safety clothes. These aspects are definitely not wrong and the following questions arise: Why are these conceptions not complete; which other aspects are typical for scientists, and why should it be important to have a wide ranged and authentic concept about science?

Answering the last question is of great importance, because no further efforts would be necessary without an answer of this question. Thus, Driver et al. (1996) summarised the five most important arguments provided by Thomas and Durant (1987) as to why promoting public understanding of science is important. These arguments have a moral, cultural, democratic, utilitarian, and an economical background. In the presented study we focus on the last point, the need for qualified scientists in the future. Today's literature provides evidence that the stereotypes described above have a huge influence regarding occupational choices (Tintori &

Palomba, 2017). Studies by Hannover and Kessels (2002) show that students (physics and engineering), having a clear self-perception, choose their preferences and make their occupational choices dependent on the similarity of their self-perceptions with their stereotypical conceptions, apart from further influences such as hereditary, cultural and professional aspects (Holland, 1959). Consequently, incomplete notions about science could be a problem because only a limited number of people – those who can identify with the stereotype – are attracted to these incomplete and simplified stereotypical descriptions of science. This is only one reason why it is necessary to convey an authentic and complete concept of science, especially regarding occupation-related aspects. Also noteworthy, studies showed no consistent findings about students' states of knowledge regarding science (Werner & Kremer, 2010; Solomon, Scott & Duveen, 1994). However, before assessing the notions of students, the question needs to be answered if the work of a scientist includes other important aspects in addition to the stereotypical aspects. Here, one should consider the constructs about the scientific knowledge and scientific processes. Science educators have thought about the *nature of science* (NOS) (e.g. Aikenhead, 1987, Jung 1979, Kuhn 1991, Kircher 1995 and Kircher and Dittmer 2004) for decades. However, the definition and dimensionality of NOS varies in literature and no consistent definition exists (Neumann & Kremer, 2013). In general, NOS describes the scientific knowledge or rather the product of inquiry. Lederman (2007) listed NOS aspects such as the temporary character of science, the relevance for the culture and the creative component of science. However, these aspects only describe the product of scientific processes. In comparison, the scientific processes, “how” the knowledge is generated and accepted, are described through the construct *nature of scientific inquiry* (NOSI). Based on this construct Schwartz et al. (2008) and Neumann (2011) have published aspects such as designing research questions, methods suitable for investigations and evaluations, or interpreting data. Yet, prior scientific knowledge (NOS) is necessary to generate new scientific knowledge (NOSI). Therefore, aspects of both constructs overlap, and often NOS and NOSI are conflated. Nevertheless, one must differentiate between them. The distinction is further supported by the National Science Education Standards (NSES, 1996) (Lederman, 2007; Schwartz et al., 2008).

Although there are differences between NOS and NOSI, both constructs describe the diversity of science and also different focal points, such as creative, social and craft aspects. Most of these scientific activities can also be transferred to other fields of research such as science of history, archaeology or linguistics, for which stereotypical, incomplete conceptions also exist (Henson, 2012; Kessels et al., 2006). Henson (2012) describes the “dumbing down” of historians and archaeologists on television and justifies this through the desired fitting into an entertainment format so that archaeology series for example include interesting processes such as excavations and reconstructions instead of allowing objective, critical re-evaluations of the results. Kessels et al. (2006) measured the implicit association of school students (11<sup>th</sup> grade) with physics compared to English. The Implicit Association Test (IAT) showed that students associate physics (relative to English) more easily with words referring to difficulty (than to ease), to males (than to females), to heteronomy (than

to self-realization), to others (relative to words referring to self) and to unpleasantness (relative to pleasant words).

With this background, we know that there are other scientific aspects relevant for changing the stereotypical conceptions of science and for fostering a more accurate view, especially regarding occupational choices. When choosing a profession, one thinks about what the profession includes, or rather what kind of activities it contains. That is why our presented study focuses on typical scientific activities. Furthermore, as described above, individuals identify with their (future) occupational field. Hence, it is important to collect and categorise a wide range of typical activities to assess the students' notions of science.

### 5.3 Theoretical background

To categorise the collected activities we decided to use the RIASEC+N model. This model originally descended from the already well-established RIASEC model, which was developed by Holland (1997) for the subject area of vocational choices. Holland classified a large number of professional possibilities into specific fields of interests, the so called RIASEC dimensions. The aim of his research is to explain vocational behaviour, help people select or change their profession and finally attain vocational satisfaction. Within the RIASEC model, different professions were sorted into the six vocational RIASEC orientations, whereby every letter of the acronym RIASEC stands for one specific vocational field. Table 5.1 shows all RIASEC dimensions with a description of the professions associated to the respective dimension.

**Tab. 5.1** | Overview of Holland's RIASEC Dimensions (1997) in Comparison to the RIASEC+N Dimensions by Wentorf et al. (2015)

Dimension	Acronym	Type of activity	Example profession (by Holland)	Example activity of scientists (by Wentorf et al.)
Realistic	R	Handicraft	Carpenter	Performing measurements
Investigative	I	Intellectual	Scientist	Interpreting data
Artistic	A	Creative	Actor	Developing research ideas
Social	S	Helping	Teacher	Supervising students
Enterprising	E	Managing	Politician	Guiding working groups

Conventional	C	Administrative; meticulous	Secretary	Doing administrative tasks
Networking	N	Collaborative	-	Interacting with scientists from other universities

For instance, the R stands for the dimension *Realistic* and includes professions such as craftsmen who “work with their hands”; the I is standing for the *Investigative* dimension including professions such as scientists who “work with their head”. Taking a closer look at the everyday activities of scientists, this vocational field should not only fall into the dimension *Investigative*, in our opinion, as scientists do more than the investigative dimension activities. They also perform experiments or measurements, whereby they work with their hands and thereby this could be included in the *Realistic* dimension, for instance. Therefore, Dierks et al. (2014) and Wentorf et al. (2015) collected many scientific activities and sorted them into the RIASEC dimensions. They found scientific activities for all RIASEC dimensions confirming the diversity of scientific aspects described above in the NOS and NOSI constructs. Furthermore, they identified activities of a seventh dimension *Networking* (N), i.e., exchanging knowledge with peers of different work groups. The resulting RIASEC+N model seems suitable for the diversity of scientific activities. Furthermore, Wentorf et al. (2015) used this model to measure self-assessments of students regarding the different scientific activities. He modified the model by considering both students’ and scientists’ answers about their concept of scientific activities. For the development of the questionnaire used in the presented project, only scientists were asked as experts to measure an authentic concept regarding scientific activities (Laherto et al., 2018; Stamer et al., 2019). Mixed items of both groups, including students’ answers, would not represent an authentic concept of science, which is why the instrument of Wentorf, Höffler, & Parchmann (2015) did not seem suitable and a new questionnaire was developed. Laherto et al. interviews (2018) were used to collect typical scientific activities for the questionnaire. Finally, the activities were sorted into the RIASEC+N dimensions and achieved good to very good interrater agreement ( $\kappa = .76$ ;  $\kappa = .96$ ). The detailed development of the questionnaire is described in Stamer et al. (2019).

Furthermore, as described in the motivation part, stereotypes also exist for further researching fields such as science of history, archaeology or linguistics (Henson, 2012). Therefore it would be interesting to investigate, if the RIASEC+N model can be used in the same way for the other research fields.

## 5.4 Project’s objectives

The aim of the presented project was to define students’ notions regarding scientific activities and to investigate to what extent these conceptions correspond to reality, or rather to the self-perception of scientists about their work. As described in section 5.3, many typical activities were collected through interviews with scientists during previous examinations. These activities were categorized and finally used to create a

questionnaire based on the RIASEC+N model (Wentorf, Höffler & Parchmann, 2015; Stamer et al., 2019).

To assess to what extent the students' conceptions correspond to reality, we compared the students' answers with the answers of the scientists (professors and junior scientists) by using the same instrument. Thus, we aimed to learn which activities are already well known and which have to be promoted (identifying stereotypes).

Consequently, the following research questions were to be investigated:

1. What are the personal views of students regarding typical scientific activities?
2. To what extent do the answers of junior scientists and professors differ?
3. To what extent does students' concept regarding typical scientific activities correspond to the self-perceptions of two groups of scientists: professors and junior scientists?

Based on studies by Höttecke (2004) and Lederman (2007) we expect that the notions of students regarding the typical work of scientists are insufficient.

## 5.5 Instrument and sample

We used a questionnaire containing the following question to answer the research questions: "A scientist is working at a university similar to Kiel University. What do you think this scientist does all day?" We also indicated that scientists include among others biologists, physicists, chemists or material scientists. Overall the questionnaire contains 39 items or rather typical activities of scientists (determined via interviews with professors) which were sorted into the RIASEC+N dimensions. The dimension *Realistic* involves activities such as performing experiments and measurements; *Investigative* includes activities such as interpreting experimental results or reading and writing scientific literature; *Artistic* contains activities such as drafting pictures for scientific articles and testing experiments under various conditions; *Social* involves activities such as supervising university students; *Enterprising* contains activities such as raising funds for research projects; *Conventional* includes activities such as writing down measurement data; *Networking* involves activities such as meeting other scientists at conferences. A related sample item for the dimension *Realistic* is: "The regular everyday work of a scientist involves performing experiments." To rate the relevance of the different activities we used a four point Likert-scale from strongly disagree (1) to strongly agree (4). Subsequently, 244 students (94 female and 150 male), aged 15-20 years and ranging from grades 10 – 13 answered the questionnaire. The students differed widely regarding grades in school and favourite subjects. We compared the students' answers with those from ten professors and 92 junior scientists in Germany. The chosen scientists are working in different fields such as chemistry, physics, material science and pharmaceutical. A small proportion of the professors who answered the questionnaire were also interviewed regarding designing the questionnaire items. Most of their work and the junior scientists work is part of the Collaborative Research Centre 677 "Function by switching" (<http://www.sfb677.uni-kiel.de>) and work at nine different German institutes. In addition, 52 junior scientists (a subgroup of the 92 junior scientists)



answered the following open question, which was part of the questionnaire: “What aspects should be present in a learning environment to convey an authentic overview of science to students?” Illustrating examples of answers to the question are shown in the discussion section.

## 5.6 Results

Apart from the reliabilities of the dimensions *Artistic* and *Networking* which are lower for the student answers, the reliabilities of the RIASEC+N dimensions, shown in Table 5.2, are between .61 and .90. The presumable cause might be student unawareness regarding some activities of these dimensions.

**Tab. 5.2** | Reliabilities (Cronbach alphas) of the RIASEC+N Dimensions.

Dimension	Items	Stud.	J. Sc.	Prof.
Realistic	Real 6	.61	.73	.83
Investigative	Inve 8	.70	.71	.*
Artistic	Arti 7	.58	.74	.*
Social	Soci 4	.71	.75	.82
Enterprising	Ente 3	.72	.90	.86
Conventional	Con 7	.76	.77	.90
Working	Net 4	.58	.73	.74

\* No calculated reliability because of a missing variance between the answers of the professors

A Levene-test was conducted to examine the variance homogeneity of the RIASEC+N dimensions for the three cohorts. The results in Table 5.3 show that the variances for some dimensions, unfortunately, are not homogeneous. That is why we chose the Welch-test for calculating the differences between all three groups. The overall differences between students, young researchers and professors are highly significant for all dimensions except the dimension Conventional, as shown in Table 5.4.

Post-hoc tests (Tamham) were conducted to calculate the significances between two groups. The resulting significance values, the average values and standard deviations are shown in Table 5.5 and Figure 5.1. The corresponding effect sizes are shown in Table 5.6.

For the representation and discussion of the results, the fields of activities will be separated into those dimensions which include mainly stereotypical activities, such as the dimensions *Realistic*, *Investigative* and *Conventional*, and those dimensions

which mainly include non-stereotypical activities, such as the dimensions *Artistic*, *Enterprising*, *Social* and *Networking*. In the following, we used the terms stereotypical and non-stereotypical activities for the respective dimensions or rather fields of activities for simplicity reasons.

The results in Figure 5.1 show that the answers of the professors are significantly higher than the answers of the junior scientists and students, except for the dimensions *Realistic* and *Conventional* which mainly include stereotypical activities. In figures 5.2 to 5.4, the RIASEC+N dimensions are sorted into stereotypical and non-stereotypical fields of activities to highlight the differences between these fields. As expected and shown in Table 5.5 as well as in Figure 5.2 and 5.3, the students and junior scientists rated the stereotypical activities of the dimensions *Realistic*, *Conventional* and *Investigative* significantly higher than the non-stereotypical activities (the dimensions *Artistic*, *Social*, *Enterprising* and *Networking*). The professors rated the activities of every dimension high, especially the activities of the dimension *Investigative*. The activities of the dimension *Realistic* were rated the lowest, as shown in Figure 5.4.

**Tab. 5.3** | Results of the Levene-test.

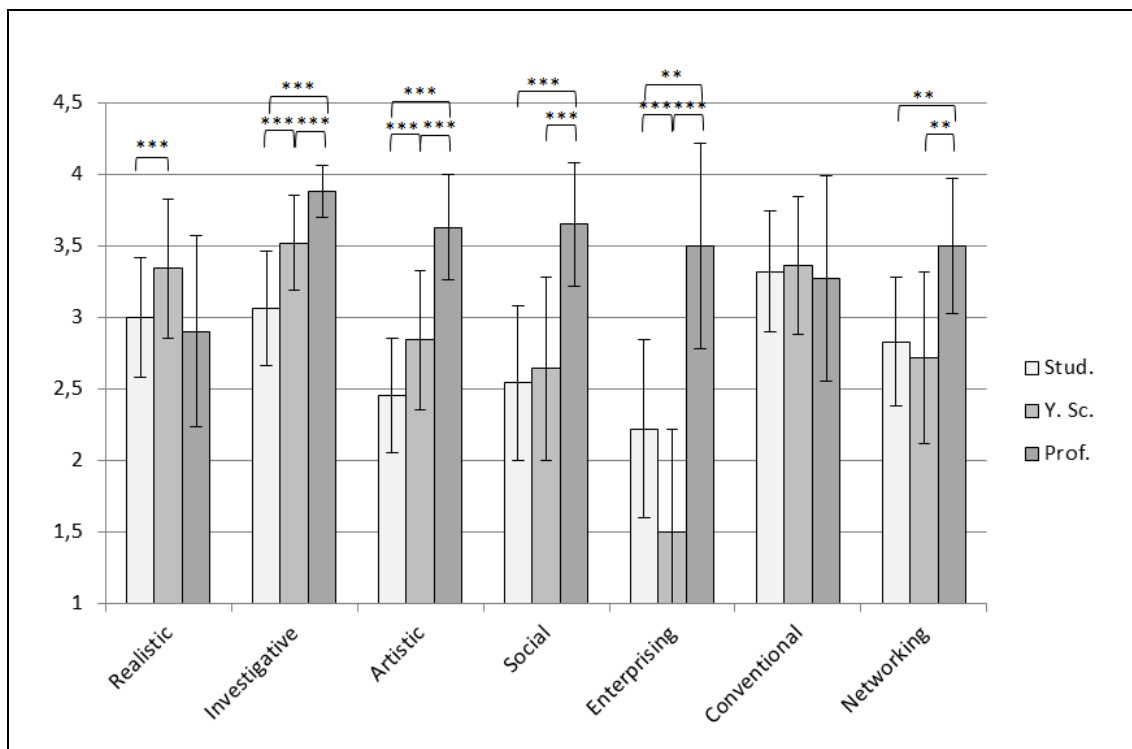
<b>Dimension</b>	<b>Levene-Statistic</b>	<b>df1</b>	<b>df2</b>	<b>p</b>
Realistic	4.252	2	343	.015
Investigative	5.962	2	343	.003
Artistic	1.819	2	343	.165
Social	1.681	2	343	.188
Enterprising	0.969	2	343	.381
Conventional	3.328	2	343	.037
Networking	7.123	2	343	.001

**Tab. 5.4** | Welch - Test after Variance Analysis.

<b>Dimension</b>	<b>Statistic</b>	<b>df1</b>	<b>df2</b>	<b>p</b>
Realistic	17.349	2	23.096	<0.001
Investigative	115.362	2	28.859	<0.001
Artistic	64.939	2	24.191	<0.001
Social	30.657	2	24.775	<0.001
Enterprising	53.647	2	23.574	<0.001
Conventional	0.203	2	23.090	0.817
Networking	11.479	2	23.750	<0.001

**Tab. 5.5** | Average Values and Standard Deviations of the Students' (Stud.), Junior Scientists' (J.Sc.) and Professors' (Prof.) Answers.

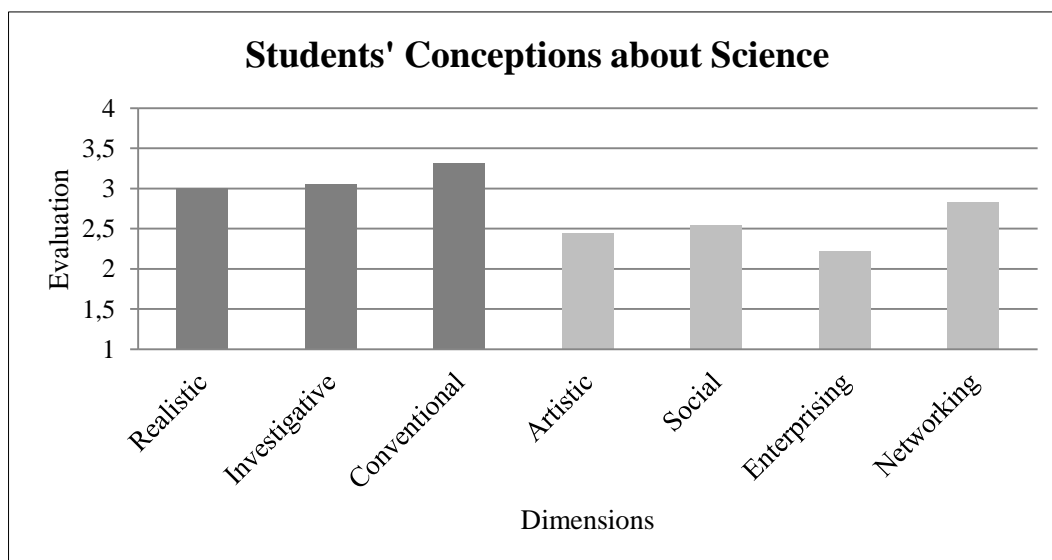
Dimension	<i>M</i>			<i>SD</i>		
	Stud.	J.Sc.	Prof.	Stud.	J.Sc.	Prof.
Realistic	3.00	3.34	2.90	0.42	0.49	0.67
Investigative	3.06	3.52	3.88	0.40	0.33	0.18
Artistic	2.45	2.84	3.63	0.40	0.49	0.37
Social	2.54	2.64	3.65	0.54	0.64	0.43
Enterprising	2.22	1.50	3.50	0.62	0.72	0.72
Conventional	3.32	3.36	3.27	0.42	0.48	0.72
Networking	2.83	2.72	3.50	0.45	0.60	0.47



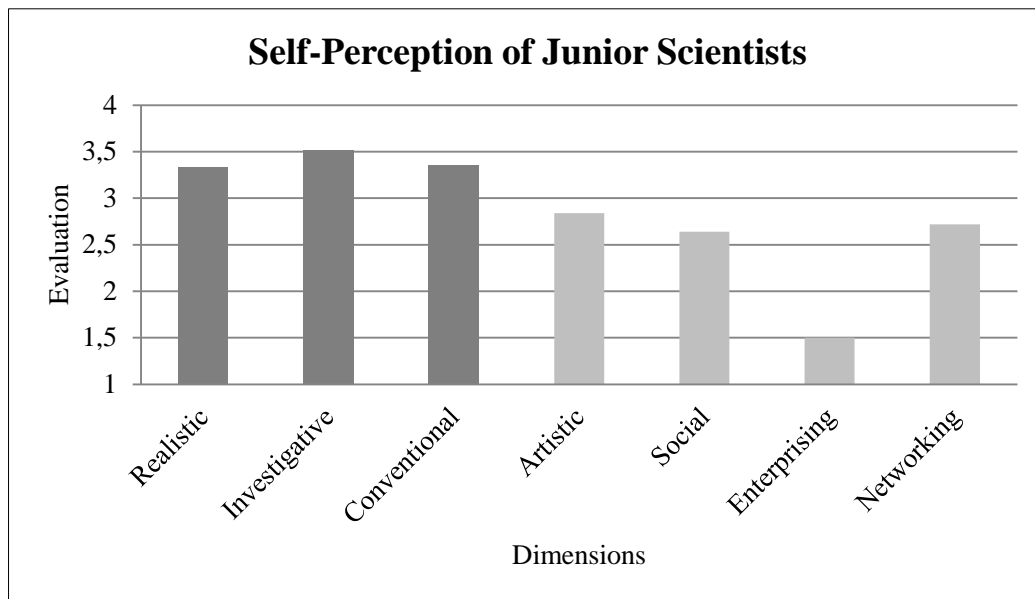
**Fig. 5.1** | Average values, standard deviations and significances of the students' (in light grey), junior scientists' (in middle grey) and professors' (in dark grey) answers.

**Tab. 5.6** | Effect Sizes (d) Regarding the Differences Between Students', Junior Scientists' and Professors' Answers.

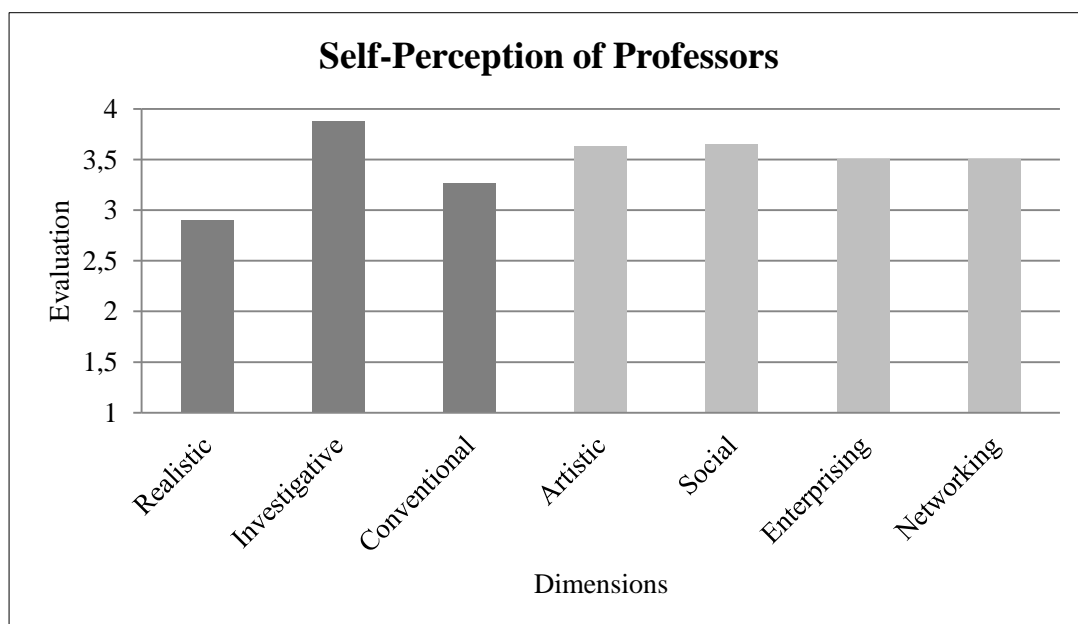
<b>Dimension</b>	<i>d</i>	<i>d</i>	<i>d</i>
	<b>Stud./J. Sc.</b>	<b>Stud./Prof.</b>	<b>J. Sc. / Prof.</b>
Realistic	0.78	0.23	0.86
Investigative	1.22	2.08	1.13
Artistic	0.92	2.96	1.65
Social	0.17	2.07	1.62
Enterprising	1.11	2.05	2.78
Conventional	0.08	0.11	0.18
Networking	0.23	1.49	1.33



**Fig. 5.2** | Average values of the student conceptions about science regarding the RIASEC+N dimensions sorted by stereotypical (dark grey) and non-stereotypical dimensions (light grey).



**Fig. 5.3** | Average values of the self-perception of junior scientists about their own work regarding the RIASEC+N dimensions sorted by stereotypical (dark grey) and non-stereotypical dimensions (light grey).



**Fig. 5.4** | Average values of the self-perception of professors about their own work regarding the RIASEC+N dimensions sorted by stereotypical (dark grey) and non-stereotypical dimensions (light grey).

**Tab. 5.7** | Significance Values (Sig.) Between Stereotypical and Non-Stereotypical Dimensions.

	Sig. Stud.	Sig. J. Sc.	Sig. Prof.
Realistic-Artistic	<0.001	<0.001	.010
Realistic-Social	<0.001	<0.001	.002
Realistic-Enterprising	<0.001	<0.001	.080
Realistic-Networking	<0.001	<0.001	.035
Investigative-Artistic	<0.001	<0.001	.039
Investigative-Social	<0.001	<0.001	.029
Investigative-Enterprising	<0.001	<0.001	.077
Investigative-Networking	<0.001	<0.001	.018
Conventional-Artistic	<0.001	<0.001	.218
Conventional-Social	<0.001	<0.001	.047
Conventional-Enterprising	<0.001	<0.001	.491
Conventional-Networking	<0.001	<0.001	.409

## 5.7 Discussion and limitations

In this section we will discuss the results shown in the previous section as well as the limitations of the study. The discussion will be supplemented by quotes of (52) junior scientists (doctoral students and post-doctoral students: a subgroup of the 92 junior scientists that were tested with the questionnaire), who were asked what they would convey to students. More precisely, they were asked the following question: “What aspects should be present in a learning environment to convey an authentic overview of science to students?”

A closer look at the student answers is helpful to answer the first research question (Figure 5.1). The results show that the average values of the dimensions which include stereotypical (laboratory) activities such as *conducting experiments or measurements; analysing data; waiting for or repeating measurements* – which belong to the dimensions *Realistic*, *Investigative* and *Conventional* – are rated significantly higher than the non-stereotypical activities as shown in Table 5.7 and

Figure 5.2. As expected, the students estimate the stereotypical activities as typical for science whereas the other dimensions, especially *Enterprising*, are regarded as less typical for science. Former studies about stereotypical notions of students concerning science can thereby be confirmed. The conceptions found by Solomon, Scott & Duveen (1994) or Sharkawy (2012) for example, contain activities of scientists such as conducting experiments and working alone to obtain new knowledge. The following aspects are not mentioned: Organising funds for projects, working together in interdisciplinary groups and imparting knowledge to students. Next, the question arises how strongly the students' conceptions differ from those of the scientists. Here, we compared the students' answers with those of the junior scientists. All in all, the students' conceptions do not differ greatly from the self-perception of the junior scientists as the junior scientists also rate the stereotypical activities higher than the non-stereotypical activities (Figure 5.3). Still, the answers of both groups show significant differences regarding the dimensions R, I, A and E, whereat students underestimate the first three mentioned dimensions. Correspondingly, a number of the junior scientists emphasized the stereotypical fields when asked what to convey to the students:

“Expenditure of chemical experiments; analytical evaluation”;  
 “Synthesis, documentation, evaluation (...) of results”

These quotes, are examples describing the typical work in a laboratory: Performing experiments (*Realistic*); the repetition and expenditure of experiments and writing down data (*Conventional*); and the interpretation and analysis of data (*Investigative*).

Furthermore, other laboratory relevant aspects such as the equipment and the atmosphere were mentioned:

“Apparatus, chemicals, especially hazardous substances and safety equipment”;  
 “Atmosphere in laboratory; safety clothing (lab coat, safety glasses) and conducting experiments”

Non-stereotypical activities were rated lower by the students and junior scientists than the stereotypical activities, but were also mentioned by the scientists as important to convey.

For example, the quote, “(...) presentation of results”, contains the dimension *Networking* or *Social* depending on the audience or the recipient of the presentation. A presentation for students belongs to the dimension *Social* whereas a presentation especially for scientists belongs to the dimension *Networking*. The assertion “(...) developing research questions (...)” belongs to the dimension *Artistic*. Regarding the dimension *Social*, the following was mentioned: “Real research sessions (...)”.

In comparing the quotations with the quantitative results of the junior scientists, both underline the importance of the laboratory work and the processing of scientific data

regarding the three stereotypical dimensions. The activities of the other dimensions were also mentioned but less frequently, except for the dimension *Enterprising*. Those activities were not mentioned at all in the qualitative study and were also rated lowest in the quantitative results. This can be explained by junior scientists usually not being responsible for the planning of financial resources.

The activities which were descriptively rated as the highest by the students are those of the dimension *Conventional* (with an average value of 3.32); comparing the average values of the student answers with the average values of the scientist answers, *Conventional* is the only dimension without significant differences. It is thereby apparent that students already know these activities.

Regarding all other dimensions, significant differences exist between the conceptions of students and self-perceptions of scientists, especially when considering the answers of the professors.

Before we discuss the differences between the three groups in more detail, we will differentiate between the answers of the junior scientists and professors. Please keep in mind, however, that 92 junior scientists but only 10 professors answered the questionnaire (as there is only a finite number of professors in general). The Welch-test (Table 4) was chosen as an additional statistical method because of the different sample sizes and partially not homogenous variances (Levene-test Table 3). A further limitation is that we cannot know if the assessment of the professors and the junior scientists is of equal importance. For example, the average value of the dimension *Conventional* is similar for both groups with 3.36 and 3.27, but we do not know if the time which both groups spend in these fields is also similar.

Nevertheless, we deem it necessary to differentiate between the answers of the junior scientists and professors, because their daily activities are clearly different. In general, both groups are involved in each area of activities, but with different foci. The junior scientists are more involved in the “stereotypical laboratory work” in contrast to the professors, whose foci of responsibility are the planning of the finances (*Enterprising*) and communicating the research results to other scientists (*Networking*). These different foci of both groups are shown by the average values and significances in Figure 5.1 and the effect sizes in Table 5.5. Notable activities include those performed in a laboratory, such as conducting experiments and measurements or waiting for chemical reactions, belonging to the dimensions *Realistic* and *Conventional*. All dimensions, except these two were rated significantly higher by the professors than by the junior scientists. The average value of the dimension *Realistic* is descriptively but not significantly higher for the answers of junior scientists than the answers of the professors.

As mentioned above, the answers of the junior scientists and professors vary widely, but both groups rated the activities of the dimension *Investigative* as highest – or rather, they have the opinion that they are most involved in these activities. This underlines the categorisation of Holland (1997), who sorted the working field of scientists into the dimension *Investigative*, because they are working mainly with their mind.



In the following, the different foci of the junior scientists and the professors need to be considered when comparing the self-perception of scientists regarding their work with the students' conceptions of scientific activities.

At this point it should be mentioned that we do not know if the students are thinking of junior scientists or professors when answering the questionnaire and if they could differentiate between both groups of scientists. Furthermore we cannot be sure if the scientists are only describing their own work or also the work of their colleagues, supervisors or subordinates (even though clear instructions were given).

These limitations are important and should be kept in mind in the following discussion.

Despite the major differences between the answers of the two groups of scientists, neither perspective is wrong. However, it is important to learn whether the students already know about the diversity of scientific work. We do not aim to match student answers exactly to the self-perceptions of the professors or junior scientists. It is more important by far that the students know about the diversity of the work of scientists, so that all different fields of activities are well-known versus only the stereotypical activities. This diversity has been shown to be extremely important: Hollander & Parker (1972) and Hannover & Kessels (2002) showed the important role of stereotypes regarding occupational choices.

Therefore we considered the student answers regarding the seven scientific RIASEC+N working fields and compared them to the answers of the two groups of scientists (second research question). Regarding the dimension *Conventional*, there is no significant difference between students' and scientists' perceptions. The average values of the students and scientists answers are similar as shown in Figure 5.1 and Table 5.4; hence, the students already know these activities. The activities of the dimensions *Realistic* and *Networking* are also well-known, but in these cases the answers of the groups of scientists differ so that the student answers are rated between the answers of the junior scientists and professors. The activities of the dimensions *Investigative*, *Artistic* and *Social* are being underestimated and should be promoted even if the activities of the dimension *Investigative* are rated highly with a mean of 3.06 (3 = "agree somewhat"). The activities of the dimension *Enterprising* are not typical for the junior scientists and they ranked them between *strongly disagree* and *disagree somewhat* (with  $M = 1.50$ ). In contrast, these activities are much more typical for professors, who ranked them between *agree somewhat* and *strongly agree* ( $M = 3.50$ ). The students' answers are in between with  $M = 2.22$ . Thus, as mentioned above, they ranked the dimension *Enterprising* as lowest. This average value means that the students disagree more than they agree that these activities are scientific activities. However, these activities play an important role in scientists' finances as shown by the answers of the professors.

## 5.8 Conclusion and outlook

The results of the personal views of students regarding typical scientific activities show that students associate stereotypical activities much more with scientific work than with non-stereotypical activities. Thus, the stereotypical conceptions about scientists described in the literature are confirmed (Höttecke, 2004; Solomon, Scott & Duveen, 1994; Sharkawy, 2012).

By comparing the students' answers with the answers of the junior scientists and professors, it should be emphasised that the aim is not to adjust the students' answers to the answers of junior scientists or professors. The students should not rate the activities of the dimension *Enterprising* as low as the junior scientists, for example, and they also should not rate the stereotypical activities lower than the non-stereotypical activities, as the professors do.

Rather, the aim should be students knowing about all the different working areas of scientists, so that they have an authentic overview what it means to be a scientist and they can make a well-informed vocational decision.

The results of this study show that students already know about many scientific activities, especially the stereotypical activities. This corresponds with previous findings in the literature. The answers of the scientists underline that these activities are still important and that they play a key role in science, especially for the junior scientists. There are also other less known non-stereotypical activities, especially those of the dimensions *Enterprising*, *Artistic* and *Social*. These activities are more typical for professors than for the junior scientists, but they are nevertheless important. Thus, knowledge about them should be promoted.

These findings are of great importance in general because they can be used as a basis for interventions to promote an authentic image of science. For example, these aspects can be integrated into out-of-school or in school education. One possibility is students working as scientists on tasks including these aspects. Another option was mentioned by a junior scientist, who answered the question, "What aspects should be presented in a learning environment for students to convey an authentic overview of science?":

"The opportunity to interact with professors would make it authentic"

While this certainly makes sense, professors unfortunately often lack time for such activities. Thus, an alternative might include other methods, for example, videos including these scientific aspects featuring real scientists (Authors, accepted). Furthermore, it would be interesting to investigate the effects of such authentic insights on interest in science and motivation to do scientific activities.

Finally, comparable investigations such as the current one would be interesting for other researching or occupational fields, as these also have stereotypical conceptions. For example, the high ratings of the professors regarding the non-stereotypical dimensions, such as *Enterprising*, are probably not only of high importance to

scientific professors but also for professors of other disciplines, which is why the questionnaire should also be used for further disciplines.

It is relevant especially for young people, to know about the diversity of possible occupations before they make vocational decisions.



# Kapitel 6

---

## **PUBLIKATION 3: Development & validation of scientific video vignettes to promote perception of authentic science in student laboratories<sup>6</sup>**

---

<sup>6</sup> Stamer, I., Pönicke, H., Laherto, A., Tirre, F., Höffler, T. N., Schwarzer, S. & Parchmann, I. (2019a). Development & validation of scientific video vignettes to promote perception of authentic science in student laboratories. *Research in Science & Technological Education* 1470-1138. <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1600491>

## 6.1 Abstract

**Background:** Many students have incomplete or incorrect perceptions of science and scientists. These simplified images, mediated by media or influential agents of socialisation, result in common stereotypes. Especially for occupational choices it is important to convey an authentic image about science and scientists.

**Purpose:** One manner to convey an authentic image and thus the aim of this study is the development and validation of scientific videos including collected activities of scientists.

**Program description:** Professors were interviewed regarding their typical scientific activities. This was followed by the development of a questionnaire which was answered by junior scientists. Authentic scientific videos were developed and finally validated in a science lab for school-students based on qualitative and quantitative results.

**Sample:** 92 junior scientists answered the questionnaire and eight professors and 96 students (31 girls and 65 boys; grade 10 to 13) were interviewed.

**Design and methods:** The scientists were surveyed before the development of the videos. The RIASEC+N model was used to categorise the collected activities of scientists. Finally, students were interviewed for the video validation.

**Results:** A number of different scientific activities of each RIASEC+N dimension could be detected, which were then integrated into four videos. The interviewed students who watched those videos successfully identified all of the activities.

**Conclusion:** The working day of scientists contains more than stereotypical aspects and well-considered/planned videos are one suitable option to promote an authentic overview about science and scientists.

**Keywords:** Scientific videos, authenticity, out-of-school learning environments, RIASEC+N model

## 6.2 Introduction

To bring order into the complexity of reality people tend to categorize when dealing with large blocks of information. This results in the formation of prejudices and stereotypes through simplifications and generalisations (Tintori & Palomba, 2017).

Media and influential agents of socialisation such as parents or peers have a great impact on young people's impressions and opinions (Archer et al., 2014). This often causes people to adopt those values and beliefs which lead to a multitude of stereotypical categories: regional, ethnic, sexes and even occupational. One occupational and quite common example is about the scientist often described as a "man in a white lab coat with a beard". He is presumed to work in a laboratory all day, is intelligent, always busy and his work is possibly dangerous (Höttecke, 2004, p. 264). Likewise, other studies identified different stereotypical images of scientists. Tintori & Palomba (2017, p. 4) describes scientific stereotypes as follows: "scientists are smart, hard-working, eccentric, workaholic men. The image conveys an idea of

social isolated and of an “unbalanced” life, without family and children, friends, hobbies or interests“. In earlier studies Solomon et al. (1994) identified seven different stereotypical student perceptions of scientists: The cartoon scientist looks like a slightly scatter brained, crazy-haired man who conducts dangerous experiments; the vivisectionist who experiments on living animals is cruel and cold; the authoritative scientist is all knowing and performs experiments not to learn but to teach; the technologist helps society by developing useful artefacts; the entrepreneur views science as a field to compete in. Students also generally consider the teacher and themselves as scientists. In their stereotypical form, teachers are scientists who relay their knowledge by showing students commonly known experiments, while students see themselves as a kind of apprentice scientists.

In summary, many different descriptions of scientists exist which partially stem from misconceptions and partially from conceptions based on simplifications that can be used as a foundation for a holistic/authentic perception of scientists (Posner et al., 1982; Cohen et al., 2017; Flaig et al., 2018). While many of these stereotypes of scientists are partly true, they all lack the diversity of today’s scientists and their activities and therefore cannot convey an authentic view. A scientist may wear a lab coat and work in a laboratory but probably not all day. It is important not to emphasize one aspect of an occupation or leave out another to promote the field. Some people may identify with a certain stereotypical aspect (Setterlund & Niedenthal, 1993; Hannover & Kessels, 2002), allowing them to follow a scientific career, but some require a diversified image. In general, it is always important to get the most authentic impression of an occupation before choosing it.

Students can get an authentic insight into science through out-of-school learning environments. Out-of-school learning environments include, for example, museums, science centres and planetariums and are often connected to scientific institutions like universities. Mostly they are characterised by new technologies and advanced learning techniques designed for informal settings (Popli, 1999; Godin & Gingras, 2000). They were designed so entire school classes or single interested students could visit to get an insight into authentic science or possibly university life. Braund and Reiss (2006) formulated the following five ways in which out-of-classroom contexts can add to and improve science learning: the development and integration of concepts; the promotion of constructive attitudes towards school sciences; improved social outcomes through collaborative work and responsibility for learning, as ascertained by Ulriksen et al. (2010); access to rare materials and to “big” science; the extended, authentic practical work. These last three points comprise the contact between school students and institutes of higher education. In Germany, so-called “student laboratories”, special out-of-school learning environments, are already well established. These laboratories are often connected to universities equipped with modern technology and focused on current research topics. School classes regularly visit over 300 of these labs and individual students sometimes experience what it’s like to be a scientist (Glowinski and Bayrhuber, 2011). Similar to what Braund and Reiss have done for out-of-school learning environments, Euler (2005) summarised

eight student laboratories goals: The most relevant of these in the context of this study are: contact with modern science through experience-based access to scientific processes; creation of a stimulating learning environment in which students are actively confronted with authentic scientific problems (preferably connected to the students' everyday experiences); providing experiences in various scientific activities and career pathways; providing personal contact with scientists.

Overall, it is obvious that the goals formulated by Braund and Reiss (2006) and Euler (2005) overlap. For example, they both focus on students' contact with authentic, actual science. The goals formulated for student laboratories (Euler, 2005) are of critical importance because incorrect perceptions and expectations not only hinder students from choosing the right career path but they result in students dropping out of university. Thus, an authentic insight into science might provide a solution to this problem.

### **6.3 Authentic insight into science through videos**

Studies proposed different ways to convey authentic science over the years – for example, helping students learn scientists' practices and attitudes (Edelson, Gordin, & Pea, 1999) by dealing with everyday problems for lifelong learning (Edelson, 1998; Lee & Songer, 2003) or conveying an authentic perception of science through interaction between students and scientists (Lee & Songer, 2003; Pea, 1994). Woods – McConney et al. (2013) summarised why an authentic mediation of science is important: it improves students' attitudes towards science and scientific careers (Coll & Paku, 2011) as well as the engagement and interest in science. Another important aspect for an authentic learning situation is the motivating effect (Goldman et al., 1998).

In an interview with teachers and headmasters, Schmidt, Di Fuccia and Ralle (2011) found that teaching professionals felt that insights into authentic scientific environments and contact with real researchers could improve children's understanding of scientific careers. But they also doubted whether scientists would be able to accurately convey their occupation to students and to ensure that student laboratories are authentic scientific environments. Furthermore, due to lack of time it is usually not possible for the scientists to regularly guide the school students in their laboratories or to be present in the learning environments. One could address this lack of authenticity by adding videos to the student laboratories that show the scientists in their normal working environment. Thereby, the students can watch the scientists' actual work instead of having to follow the scientist's narration which might focus on just the highlights of his or her work rather than portraying a holistic view. Instead of only working on adjusted experiments from the student laboratory (Affeldt et al., 2015), they also get to view videos of the actual projects the scientists are working on. Thus, there is a specific, necessary guidance conveying the complexity of authentic inquiry. Importantly, Goldman et al. (1994) have already shown that authentic videos about science can motivate students to solve scientific problems.



Students were shown a video with a scientific real-world problem and then asked to find a solution. Afterwards, the video was continued showing the scientist's solution.

## **6.4 Framework and aims of this project**

The main goal of this project is the development and validation of scientific video vignettes which convey authentic insights into the daily work of scientists. Therefore, this article is divided into two parts as it presents the findings of two sub-studies: a) collection of information on what a scientist's typical day looks like and b) development and validation of videos. For the first sub-study, professors were interviewed about their work activities. Typical activities of scientists were classified into dimensions for a questionnaire based on the answers. A final questionnaire was given to the scientists to validate whether the chosen activities are actually typical. The method, results and discussion are shown in the following section. Videos showing those typical activities were produced based on the results of this first sub-study. The validation through a Think-Aloud-study and interviews with students who watched the videos is presented after a short presentation of the developed videos. The corresponding results are shown in the Study 2 section.

This leads to the following two research questions:

- “What are the typical activities of scientists?”
- “Do the students perceive the diversity of science, or rather scientific activities, in the videos?”

In order to assess effects of the videos, the collected typical activities of scientists should be sorted into dimensions of a suitable model. The RIASEC+N model described in this section was chosen based on this assessment. The original RIASEC model was developed by Holland for vocational choices (Holland, 1963; Holland, 1997). In this model every letter represents a specific professional field as shown in Table 6.1. Further studies by Armstrong et al. (2008) showed that scientists originally placed in the investigative dimension by Holland also practise activities in the six other dimensions. Hence, Dierks et al. (2014) modified the RIASEC model to measure the students' interests in scientific activities. Based on empirical analyses, a seventh dimension “networking (N)” was introduced which contained the field of activities in which scientists are working together. Subsequently, Wentorf et al. (2015) interviewed students and scientists in order to measure the perception regarding typical scientific activities. Table 6.1 shows the description of the dimensions with corresponding example activities. Only the self-perception of scientists regarding their own work was required as this study aims to develop authentic scientific videos.

**Tab. 6.2** | Overview of the RIASEC model by Holland (1997) and the adapted RIASEC+N model by Wentorf et al. (2015).

Dimension	Acronym	Type of Activity	Example Profession (by Holland)	Example Activity of Scientists (by Wentorf et al.)
Realistic	R	Handicraft	Carpenter	performing measurements
Investigative	I	Intellectual	Scientist	interpreting data
Artistic	A	creative	Actor	developing research ideas
Social	S	Helping	Teacher	supervising students
Enterprising	E	managing	Politician	guiding working groups
Conventional	C	Administratively ; meticulous	Secretary	doing administrative tasks
Networking	N	Collaborating	-	exchanging with scientists from other universities

## 6.5 Principles of the study and results

### 6.5.1 Sub-study 1: Typical activities of scientists

Before the video development could start, it was necessary to ascertain which tasks the work of scientists generally contains and how to categorize them. In order to answer those questions we used qualitative and quantitative instruments, i.e., interviews and a questionnaire. During the qualitative study (Laherto et al., 2018), eight university professors of a Collaborative Research Centre (CRC) focusing on nano research were interviewed about their daily work. Each interview took approximately 60 minutes and was carried out by two interviewers.

Among other things, the professors were asked the following during the interviews:

*“Please describe the process of one of your nano related research projects and its organisational and scientific processes.”*

The scientists then listed typical and relevant activities ranging from the development of new research ideas to presenting results. However, the interviewed professors not only spoke about their own activities, but also about activities such as performing measurements, of their researching doctoral and post-doctoral students. Overall, a broad spectrum of activities was collected. Therefore, the interviews fit our intentions and we decided to re-analyse them. The scientists mentioned activities from all RIASEC+N dimensions (Table 6.2). Thus, the model also seemed suitable for our

purposes and was consequently used for the presented study. The interviews were transcribed and then analysed using the framework of qualitative content analysis by Mayring (2008). We used a deductive process in which the quotes or rather the activities were sorted into categories according to the RIASEC+N model (Dierks, Höffler, Parchmann, 2014; Wentorf et al., 2015; see above). The evaluation of the interviews conducted by three different evaluators resulted in a Fleiß's kappa value of .83 and Cohen's kappa values between .76 and .96 which confirm a good to very good interrater agreement.

**Tab. 6.2** | Example quotes of scientific professors about their own work sorted into RIASEC+N dimensions.

Dimension	Mentions	Quote
R Realistic	56	"If you do experiments, you have to be good at operating the instruments ..."
I Investigative	44	"... [we work with theoreticians sometimes] to explain these results."
A Artistic	40	"... you need to find good relevant scientific questions."
S Social	7	"... also discussing with my students and Ph.D. students ..."
E Enterprising	18	"The money procedures, yes, I think that's fairly general."
C Conventional	5	"... two people together, synchrotron-based techniques usually require working in 24-hour shifts, so we typically need , a measurement team of three to four researchers to run the experiment continuously for a week or two and..."
N Networking	48	".... I'm not saying that a chemist or physicist cannot produce nano materials and study them, but it helps to have this more interdisciplinary approach. And often it helps to have cooperation."

Based on the gathered and sorted answers of the professors, we finally developed a questionnaire by using the RIASEC+N categories as dimensions: the dimension *Realistic* includes activities that require you to work with your hands such as executing measurements or performing experiments; *Investigative* includes activities concerning both literature and data, for example reading research literature or interpreting experimental data as Wentorf et al. (2015) mentioned; *Artistic* also consists of two aspects: the first is more creative such as developing new research ideas and the second aspect is more aesthetic such as creating scientific posters (Wentorf, 2016); the dimension *Social* is composed of teaching and supporting activities such as supervising university students; the *Enterprising* dimension includes activities regarding finances such as raising funds for research projects;

*Conventional* consists of activities which are meticulous such as writing down measurement data and the *Networking* dimension includes collaborative activities such as meeting colleagues from other departments.

A four-point Likert scale from *strongly agree* (1) to *strongly disagree* (4) was chosen to determine the importance of the different activities - if the activities which were sorted into the RIASEC+N dimensions are typical for scientists or not. Example items from the questionnaire are shown in Table 6.3.

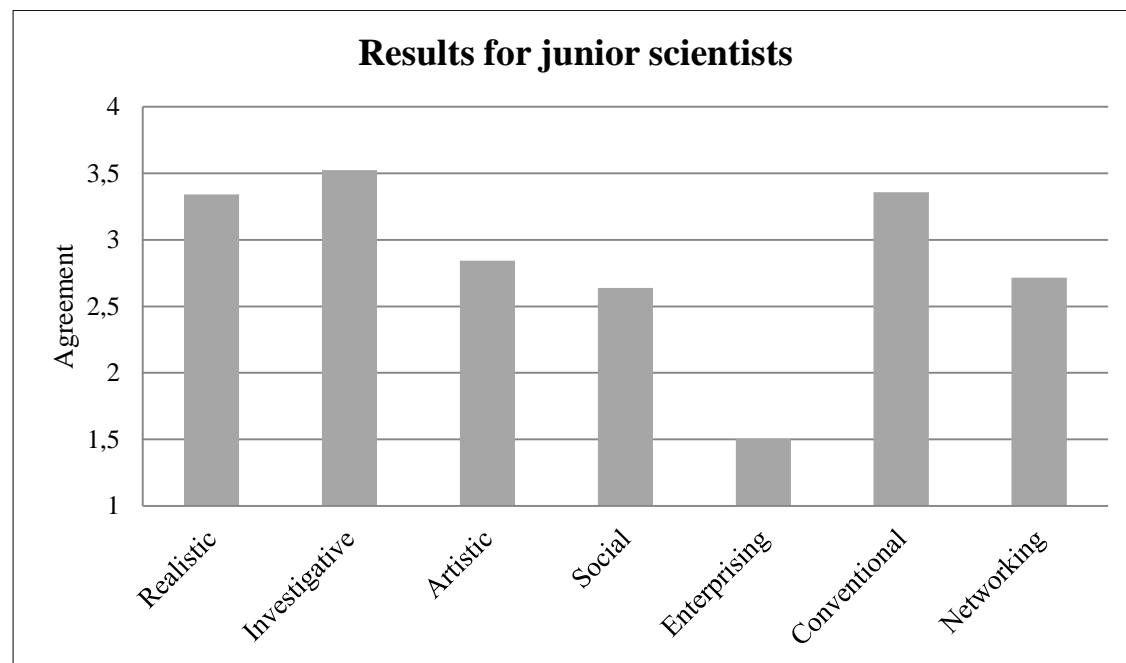
**Tab. 6.3** | Example items of the RIASEC+N dimensions.

	Example Item <i>The regular everyday work of a scientist involves...</i>
R	performing measurements.
I	interpreting experimental data.
A	designing new research approaches.
S	giving lectures and seminars for university students.
E	writing a financial plan for their research projects.
C	monitoring ongoing reactions or measurements.
N	working together in interdisciplinary projects.

Afterwards, 92 junior scientific researchers of different fields (e.g. chemistry, physics, pharmaceutical and material science) answered the questionnaire. Because of the low reliabilities of the dimensions *Realistic*, *Investigative* and *Artistic*, we optimised these dimensions. For the *Realistic* dimension we removed one item, for the dimension *Investigative* we removed three items and developed five new items, and for the *Artistic* dimension we removed one item and developed three new items. For the *Investigative* dimension we aimed to include items which deal with the work on data as well as on literature because the professors explicitly mentioned those two areas. Finally four items were incorporated for both data and literature. Likewise, the *Artistic* dimension included three items for creative and four items for aesthetic aspects. Thus, this final version is comprised of a total of 39 items. Ten of these items are identical to the ones of the original questionnaire developed by Wentorf et al. (2015), who based his questionnaire not only on answers of scientists, but also on answers of students. To ensure the quality of the questionnaire, 92 junior scientists were asked to complete the final version. The sample of 92 junior scientists is quite limited and might require a replication study in the future; however, the reliabilities were satisfactory, as shown in Table 6.4.

**Tab. 6.4** | Number of items and corresponding reliabilities.

	Optimised questionnaire <i>N</i> = 92	
Dimension	Number of Items	Cronbach's alpha
Realistic	6	.73
Investigative	8	.71
Artistic	7	.74
Social	4	.75
Enterprising	3	.90
Conventional	7	.77
Networking	4	.73



**Fig. 6.1** | Self-perception of young scientists (*N* = 92) regarding scientific activities they regularly conduct.

The average values (Figure 6.1) for all dimensions are higher than 2.5, except for the dimension *Enterprising* with a value of 1.5. This may be because the professors, not the junior scientists, are responsible for the finances. We also questioned 10 professors. As expected, the resulting average value (of 3.5) increased. In addition, the average values for the other dimensions, except for the dimensions *Realistic* and *Conventional*, are higher than the average values of the junior scientists. These results are discussed below and were used for the video development in Study 2.

### Discussion

Except for the dimension *Enterprising*, the average score of the junior scientists' answers are higher than 2.5 (Figure 6.1). The low average score of the dimension

Enterprising may result because it is not the task of junior scientists to plan finances (Figure 6.1). In comparison, the average score of the professors' answers, concerning all dimensions, is nearly 3 or higher. Thus, the scientists agree that the chosen activities are typical everyday activities for scientists. The dimensions *Realistic* and *Conventional* were scored the lowest by the professors in contrast to the junior scientists, who scored these dimensions the highest. These dimensions include stereotypical activities such as "conducting experiments" or "writing down measurement data", which are typical activities carried out by junior scientists and no longer professors. Typical activities of professors averaged higher, for example, on the dimensions *Social* ("supervising university students"), *Artistic* ("developing new research ideas"), *Networking* ("working together in interdisciplinary projects") and *Enterprising* ("ensuring funds for research projects").

### 6.5.2 Sub-study 2: Development and validation of videos

#### *Development of video vignettes*

Videos were planned based on the qualitative and quantitative results shown in Study 1. First, considerations regarding the contents of the videos were necessary. Activities covering all RIASEC+N dimensions had to be integrated to convey insight into the everyday life of a scientist. In order to integrate the videos into the respective experimental stations, the videos and the stations of the student laboratory needed to match content-wise. It was decided to use four individual projects the CRC scientists were currently working on as plotlines for the four videos since the experiments of the student laboratory were developed in cooperation with the scientists of the CRC.

The CRC topics or rather the topics of the experimental stations in the student laboratory are nanoscience and switchable molecules. The student groups mostly worked independently but were accompanied by one supervisor at each station. There the students were first given a short introduction to the topic before they watched the video. They conducted the experimental part after watching the video.

Overall, four video vignettes of 5-10 minutes in length were planned and subsequently recorded at the different scientific faculties. Scientists of the CRC were chosen as actors presenting their own work. The structure of all four videos is identical. In the beginning the title, the chosen institute and the main actor are shown. Afterwards comes the story with different activities and conversations. Scenes which only show activities without conversation are supported by subtitles.

#### *First video*

The experiment station for which the first video was developed focuses on a switchable molecule<sup>1</sup> named spiropyrane. The video is set in the department of organic chemistry and shows a synthesis of spiropyrane in a laboratory, starting after a few failed synthesis attempts. Following the preparation of the synthesis, the chemist has to wait for the reaction to finish, cleans the product, conducts measurements and finally analyses the data he acquired. This time, the synthesis is

successful. The typical activities of scientists, covered in this video, are part of the dimensions *Realistic*, *Conventional* and *Investigative* as shown in Figure 6.2. After watching the video, the students received a sample of spiropyrane to conduct switching tests with different light sources and different solvents.



**Fig. 6.2** | Activities of scientists from video one. Left: Preparation of the synthesis of spiropyran (dimension *Realistic*). Right: Analysing the resulting data (dimension *Investigative*).

<sup>1</sup>Footnote: Switchable molecules are molecules that can be reversibly switched by external stimuli like heat or light.

#### *Second video*

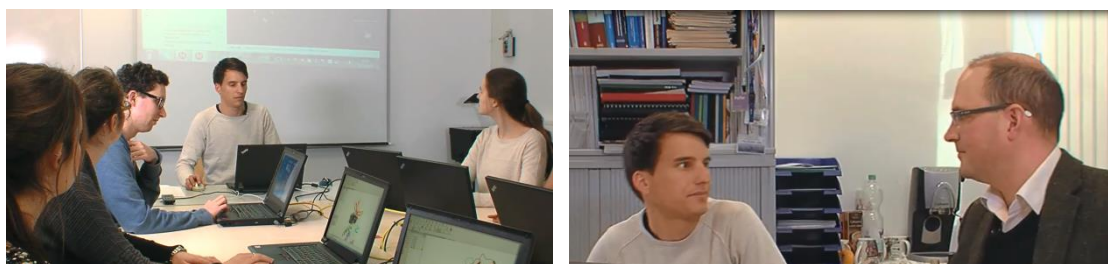
The second experiment station presents different everyday products containing switchable molecules. The corresponding video vignette shows a collaboration between the chemist of the first video and a material scientist. The material scientist receives a sample of spiropyrane from the chemist and mixes it with a polymer to obtain a switchable plastic product. After testing which stimuli are able to switch the product, the material scientist designs a poster with the results to present to other scientists at a conference. These activities cover the dimensions *Networking*, *Realistic* and *Artistic* (Figure 6.3). Following the video, the students received different switchable, everyday products, such as glasses which automatically darken when exposed to sun- (UV-) light, or cups which change colour when heated.



**Fig. 6.3** | Activities of scientists from the second video. Left: Designing of a scientific poster (dimension *Artistic*). Right: Presentation of the results to another scientist (dimension *Networking*).

### Third video

The next experiment station deals with computer simulations and its corresponding video takes place at the pharmaceutical institute. The video starts with a conversation between a professor and a doctoral student about the financial situation of their research project. Afterwards, the junior scientist supervises a master's student and gives a short introduction to biomolecule modelling software. Finally, a lecture about further simulations is shown. These activities match the dimensions *Social* and *Enterprising* as shown in Figure 6.4. After watching the video, the students were able to simulate a protein structure with the same software.



**Fig. 6.4** | Activities of scientists from the third video. Left: talking about the funds of a research project (dimension *Enterprising*). Right: giving a seminar for university students (dimension *Social*).

### Fourth video

The last experiment station with an integrated video involves nano-scaled surface measurements conducted with an atomic force microscope (AFM) and a scanning tunnelling microscope (STM). The corresponding video takes place in the physics institute and follows the most important steps of a research project, including measurements, repeating failed attempts and finally writing and publishing the results in cooperation with chemists who synthesised the measured compound. Covered dimensions include *Conventional*, *Networking*, *Investigative* and *Realistic* (Figure 6.5). After watching the video, the students themselves conducted measurements with the AFM and STM.



**Fig. 6.5** | Activities of scientists from the fourth video. Left: repeating measurements (dimension *Conventional*). Right: reading scientific literature (dimension *Investigative*).

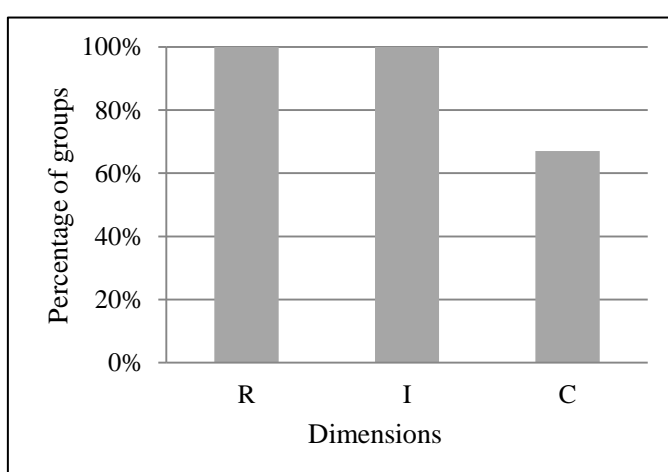


### *Validation of video vignettes*

A Think-Aloud- and an interview-study for the optimisation and validation of the video vignettes was carried out. Thereby 96 students (31 girls and 65 boys) who visited the student laboratory with their teacher for one day were interviewed. They were divided into groups of two to four students (19 groups of two students; 18 groups of three students and one group of four students). These students were from 8 different secondary school classes, ranging from grade 10 to 13, and were interviewed during their laboratory participation. In the Think-Aloud-Study the students were invited to communicate all of their thoughts while watching the video. The study was conducted without any (content) specific questions or focus. By doing so, we aimed to determine what details the students focused on, as well as ways to optimise technical details, such as placement of music or scene length. Furthermore, the students mentioned chemistry specific details, such as names of substances and, as we had hoped, activities of scientists. An interview was conducted after showing the videos. The main question was: “Which activities were conducted by the scientists in the video?” This question was designed to determine all activities the students had noticed.

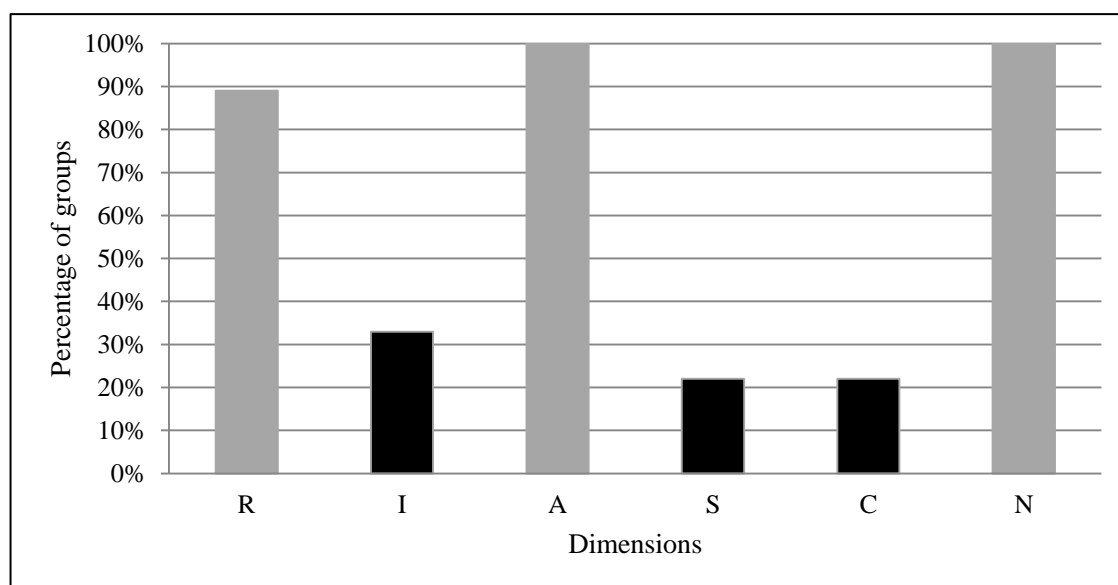
### *Results: Think-Aloud- & Interview-Study*

The following graphs show how many student groups mentioned the activities within the Think-Aloud and interview study. Please be aware that we considered the comments of the student groups and not the responses of every single student, as most of the students would not repeat the answers of their groupmates. As can be seen in Figure 6.2, all nine groups of students noticed *Realistic* and *Investigative* activities in the first video. Six groups also mentioned the dimension *Conventional*. Thus, all activities we had intended to be seen in the video were indeed perceived by at least some of the students.



**Fig. 6.6** | Percentage of student groups (nine groups) who noticed the activities of the dimensions *Realistic*, *Investigative* and *Conventional* in the first video within the Think-Aloud and interview study. In grey: activities which were intended integrated. All other dimensions were not mentioned by the student groups.

In Video 2, the dimensions *Networking*, *Realistic* and *Artistic* (in green) were explicitly considered. Side activities belonging to other dimensions were also present in the different videos since it is unauthentic to present some of the selected dimensions without putting them into a broader context. For instance, the dimension *Realistic* that was planned as a focus dimension in Video 1, also had to be included in this video as background context for the other dimensions. In this case, eight out of nine groups perceived the category *Realistic* and all groups perceived the categories *Artistic* and *Networking*. Furthermore, three groups considered activities of the category *Investigative* and two groups considered activities of the categories *Social* and *Conventional*, which were not explicitly integrated in Video 2.



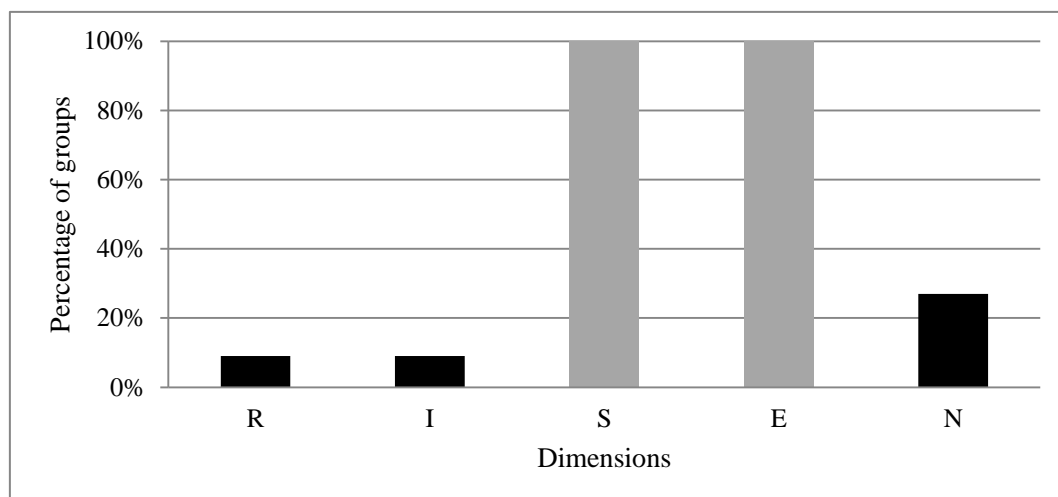
**Fig. 6.7** | Percentage of student groups (nine groups) who noticed the activities of the dimensions *Realistic*, *Investigative*, *Artistic*, *Social*, *Conventional* and *Networking*. In grey: activities which were intended integrated; in black: activities which were not explicit integrated in Video 2. Enterprising were not mentioned by the student groups.

*Investigative*: “[I saw] that she was evaluating everything and writing it down.”  
 “[After that] she evaluated the experiment results also using her computer program; we saw many statistics[, diagrams and pictures].”

*Social*: “That was a lecture.”  
 “I think that was a lecture from a professor about spiropyrene.”

*Conventional*: “[I can see] that she is verifying her experiments or something like that.”

To validate Video 3, eleven groups of students were questioned and all groups perceived the categories *Enterprising* and *Social*. These are the two categories explicitly shown in Video 3. Furthermore, three groups perceived the category *Networking*, while each of the categories *Realistic* and *Investigative* was perceived once.



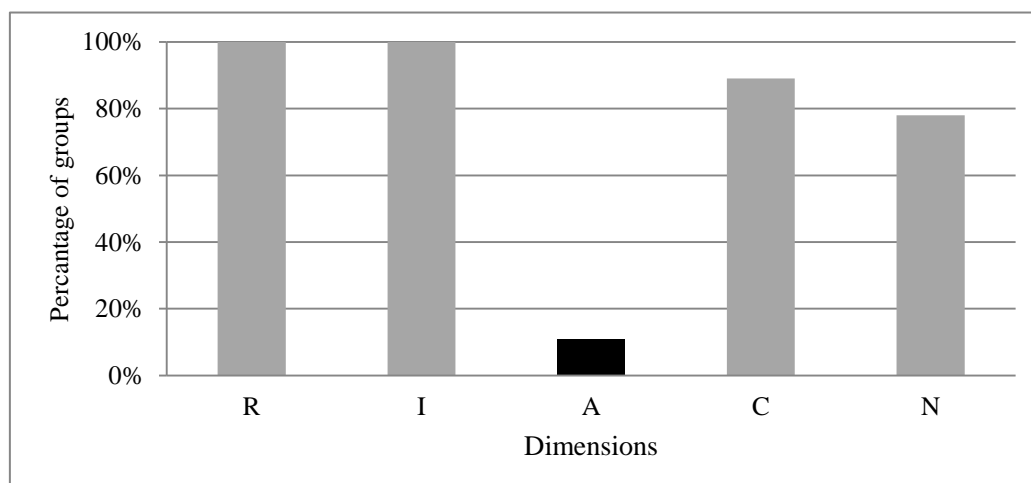
**Fig. 6.8** | Percentage of student groups (eleven groups) who noticed the activities of the dimensions *Realistic*, *Social* and *Enterprising*. In grey: activities which were intended integrated; in black: activities which were not explicit integrated in Video 3. All other dimensions were not mentioned by the student groups.

*Realistic*: “He conducts experiments by himself.”

*Investigative*: “.. and writes a thesis.”

*Networking*: “.. and then he met his colleague and said that he is satisfied that he got an order.”

Video 4 was developed to cover the categories *Realistic*, *Investigative*, *Conventional* and *Networking*. All nine groups perceived the category *Realistic* and *Investigative*, eight groups the category *Conventional* and seven groups perceived the category *Networking*. Only the category *Artistic*, mentioned by one group, was not especially recognised.



**Fig. 6.9** | Percentage of student groups (nine groups) who noticed the activities of the dimensions *Realistic*, *Investigative*, *Conventional* and *Artistic*. In grey: activities which were intended integrated; in black: activities which were not explicit integrated in Video 4. All other dimensions were not mentioned by the student groups.

## Discussion

During the video development, we aimed to include each RIASEC+N dimension. The results of the video validation show that all dimensions were detected at least 67 % by the students. Furthermore, the students noticed only a few activities which were not explicitly integrated in the videos. For instance, four groups detected activities of the *Investigative* dimension in Video 2, which had not been explicitly included. The reason for this is that the students confused “*designing a poster*”, which is an activity of the dimension *Artistic*, with “*evaluating data on the computer*”. Furthermore, two groups mentioned activities belonging to the dimension *Social*, confusing *a scientist giving a scientific talk to other scientists* (dimension *Networking*) with *a professor giving a lecture to university students* (dimension *Social*). Other activities not specifically shown in the videos weren’t detected by more than one group and will be treated as outliers. Overall the realistic (hands-on) activities such as performing measurements or experiments were easily recognised by the students - in stark contrast to the activities of the dimension *Conventional*, such as waiting for reactions.

## Additional hints for video development

Some aspects are listed in this section which in our experiences from our study, are generally important for development and implementation of authentic science videos for students. These aspects originate from the video shoot itself or through feedback by students. In our case, the aim of the videos was promotion of the perception of authenticity via typical scientific activities. Other less important aspects should not distract from the main aspects. The following hints should be helpful as well:

First, appropriate actors should be selected. Should you choose professional actors or rather authentic amateurs? Either can be appropriate, depending on your focus. What kind of appearance, gender, age, pronunciation and voice should they have to be suitable for the shown situation? In our case, some students made remarks about the pronunciation and the acting performance of the scientists in the videos, but we preferred authenticity rather than professional acting. We chose scientists and had better results when they could freely talk about the content rather than having a predefined text. However, they had to be instructed not to use too many uncommon technical terms. The next aspect is to write a script with chosen background music and locations, different perspectives, possible animations, duration of the video as a whole and of each scene, equipment and the content of the exchange. In this regard, we collected the following experiences: Background noise and music should not be too loud and the music should fit to the situation. Music-only scenes should not be too long. Animations are often perceived positively by the students. Planning requires enough time for filming each scene in which perspectives are necessary for the final cut. Which perspective should be chosen in general? For example, if someone explains something, maybe it is useful to address the audience directly, and for an authentic video it is useful to film in from the “outside” as in movies for example. The length of an introductory video is critical – for example, videos with a duration

of four to ten minutes were intently followed by the students, but videos longer than that were too long. Last but not least, logical relationships and the useful embedding into the learning situation were very important for the students.

## 6.6 Overall Conclusion

In order to be able to develop authentic videos we had to determine the typical activities of scientists and if these activities could be assigned to the RIASEC+N dimensions. Based on the results, scientific videos have been developed and, subsequently, these videos have also been validated.

Activities, distributed over all of the RIASEC+N dimensions, were found and categorised through interviews with scientists. The activities of all dimensions were used for the development of the questionnaire and subsequently explicitly integrated into the four videos. A closer look into the results of the quantitative and qualitative questioning shows that it could be possible to refine the RIASEC+N dimensions into specific sub dimensions. For example the dimension Investigative can be split into the sub dimensions literature and data or the dimension Artistic into aesthetic and creative aspects. Furthermore, the (hands-on) activities of the dimension *Realistic* were very easily recognised by the students in contrast to the meticulous and administrative activities of the dimension *Conventional*. The reason, therefore, could be that it is easier to show and to identify the *Realistic* activities through videos than activities of the dimension *Conventional*. But subsequently, one could assume that students who saw all four videos will recognise all of the different fields of activities, bringing their image of an authentic scientist closer to reality. They got to know activities of scientists which were new to them, for instance, that scientists have to publish and present their results. In this way, it is possible to convey a huge spectrum of different scientific activities with the aim to expand the stereotypical images of scientists to an authentic/realistic image of scientists. While the videos only portray specific topics, the activities themselves are not bound to any subject, since we asked multiple scientists from different fields if they agree with the chosen activities; which they did. Nevertheless, we cannot be sure that we took into consideration absolutely all typical activities of scientists.

In conclusion, a general overview for authentic scientific activities was achieved through the production of video vignettes and the students were able to recognise all of the explicitly intended activities.

## 6.7 Perspectives

We can use the questionnaire the scientists used to ask students to answer further questions about students' views on scientific activities. This can help measure in a pre/post testing, before and after they visit the student laboratory, and whether or not watching the videos in the student laboratory has any effect on the students' viewpoints on scientists' activities. To only measure the effects of the videos, the

questionnaires could be used to compare students who visited the laboratory with students who, also watched the videos. This way one can investigate whether the students watching the videos will be less susceptible to stereotypical images of scientists than the group who didn't watch the videos. Furthermore, the students' answers can also be compared to the answers the professors and junior scientists gave to investigate if watching the videos is helpful to align students' view of scientists' activities closer to that of the actual scientists. The questionnaire could also be repeated at a later date to measure the long-term effect of the videos. It is also possible to integrate a combination of videos and experiments into a classroom situation to determine the effect of the student laboratory or rather the different learning environments. Finally, it could clarify if the videos have further effects on for example the students' perceptions regarding the chosen scientific actors.

# Kapitel 7

---

## **PUBLIKATION 4: Authentic Insights into Science: Scientific Videos used in Out-of-school Learning Environments<sup>7</sup>**

---

<sup>7</sup> Stamer, I., David, M., Höffler, T. N., Schwarzer, S. & Parchmann, I. (2019b). Authentic insights into science: Scientific videos in out-of-school learning environments. Unpublished manuscript, Leibniz Institute for Science and Mathematics Education at the University of Kiel. Manuscript submitted for publication

## 7.1 Abstract

The primary objective of the current project was to convey authentic science to students in out-of-school student laboratories. High school students have diverse and partially wrong concepts of scientists' work. To convey more realistic concepts, we developed videos of scientists working on relevant and up to date scientific topics. These videos, covering different work fields of scientists, were integrated into experimental stations as part of the student lab. Half of the participating students performed the experimental part only ( $n = 117$ ), whereas the other half of students ( $n = 119$ ) additionally watched the videos. The results of a pre-post comparison show significant increases for previously underestimated work fields, such as artistic ( $d = 0.94$ ) and social ( $d = 0.51$ ) aspects, for the video group. Furthermore, the perceived authenticity in the student laboratory was also promoted by the videos ( $d = 0.47$ ). In conclusion, videos were shown to be a suitable option to promote the perceived authenticity in out-of-school student laboratories and to convey an authentic concept of scientists' work.

Scientific videos, authenticity, out-of-school learning environment, Nature of Science, scientific stereotypes

## 7.2 Introduction

During the last decades, science and science related topics have become an increasingly covered topic in the media due to important discussions regarding scientific phenomena such as global warming and environmental pollution caused, for example, by large quantities of microplastics in the seas or nanomaterials in waste water. Does the general public have an authentic notion of science and scientists? How can we convey an accurate representation? This study aims to answer these questions.

Realistic images are especially important for those looking to make informed career choices in a science field. Furthermore, these images about science promote interest in science (Woods-McConney et al., 2013) fundamental to acquiring basic knowledge about science. However, this is not only important for those who choose a career path in science; it is also useful for everyone else to assess many everyday life situations and to make informed decisions. For example, if one has basic scientific knowledge about the advantages and disadvantages of sun lotions containing nanoparticles, it is easier to decide whether to use it or not.

Therefore, we worked with science experts on nanomaterials to develop hands-on experiments and videos showing nano scientists at work. In the following, different stereotypical representations of scientists, the use of authenticity in the context of science, the scientific constructs *Nature of Science* and *Nature of Scientific Inquiry* and opportunities to convey an authentic image of science in out-of-school learning



situations will be described. This paper presents one such implementation and evaluation opportunity.

### 7.2.1 *Scientific stereotypes*

Studies show that students' concept of science often significantly differs from reality. Their notion of scientists and their everyday work is often incomplete or even wrong (e. g., Solomon et al., 1994; Höttecke, 2004). Solomon et al. (1994) investigated these notions and found seven typical stereotypes: the “cartoon-like” character has no expectations and performs dangerous and surprising experiments; the vivisectionist also has no expectations, performs tests and hurts and kills animals; the authoritarian is all-knowing and all of his experiments yield correct results; the technologist produces artefacts not knowledge, tests if they work and improves them; the entrepreneur searches for new knowledge and valuable products. Furthermore, some students see themselves and their teacher as scientists. Another approach has been followed by Milne (1998). He identified four different types of scientists by investigating science stories: the heroic story describes scientists as heroes who make important contributions; the discovery science story describes the development of scientific knowledge as accidentally occurred results, the political story explores the interactions between science and society; the declarative science story represents scientific knowledge or processes based on observations and is accessible to anyone. In addition to the different stereotypes, one recurring image was described by Höttecke (2004, p. 264):

“The typical scientist is a man in a white coat. He wears a beard or looks unshaven, is unkempt and is surrounded by laboratory equipment, which he is handling all day. He has no time at all and knows nothing about the rest of the world. He is intelligent and secretive, but his work can be very dangerous.”

These stereotypes are mediated “through a wide range of sociocultural agents including schools, families, science centres, museums and visual and print media (e.g., magazines, televisions, books, cartoons)” (Sharkawy, 2012) to convey an image of science and scientists that is easier to understand than the complex reality. However, stereotypes are old fashioned in general, but simplified and incomplete generalisations of social groups and they also represent a distortion of reality, in this case of science or scientists (Tajfel, 1974). Here, stereotypes exclude many groups of people, for example females or people who do not consider themselves as particularly intelligent (Sharkawy, 2012). Tintory (2017, p. 2) described this as follows:

“Among the stereotypes concerning scientists, there are those considering scientists a group of clever, bright, reserved, socially clumsy people, devoted only to their work – all characteristics that make them different from ordinary people.”

Therefore, these stereotypes can be problematic, for example if students find them incompatible with their self-image (Cheryan et al., 2015) as this could influence the students' career choices. Studies of Hannover and Kessels (2002) as well as

Setterlund and Niedenthal (1993) show that students determine their preferences and choices in school based on their similarities to the prototype. Here, these conceptions can be a problem, for example if the students chose non-scientific school subjects or career paths because of these inaccurate notions (Pithers & Holland, 2006). Likewise, it is problematic when students who started studying science related subjects must drop out because of misconstrued conceptions (Macdonald, 2000). That is why an authentic concept of science is of great importance.

### 7.2.2 *Authentic science*

In general, two different definitions of authenticity in the context of science or conveying science exist; the first describes the relevance to everyday life and the second the relevance to the professional environment (Engeln, 2004). Linn and Muilenburg (1996) utilized the first definition and mentioned authenticity in the context of solving everyday problems as a successful strategy for teaching science. Braund and Reiss (2006, p. 1375), applied the second definition and described the relevance of conveying the real scientific professional environment:

“There seems, though, to be some consensus, at least in terms of practical work in school science, that authentic school science should provide experiences that are more in line with the sorts of activities that scientists and technologists do in the real world of science and that such experiences should include student-directed tasks and more open-ended enquiries.”

Lee and Butler Songer (2003) combined both options to convey authentic science. They designed real world situations in combination with authentic inquiry tasks based on the regular work of scientists. Furthermore, they emphasise the importance of using authentic situations to understand scientific knowledge and to participate in social practices.

No matter if science is transferred to everyday phenomena or the scientific professional environment, in both contexts science is characterised by its diversity, such as creativity, originality and innovation, unlike the described stereotypes above. The scientific constructs *Nature of Science* (NOS) and *Nature of Scientific Inquiry* (NOSI) show how diverse science is.

### 7.2.3 *NOS and NOSI*

The constructs, NOS and NOSI (e.g., Lederman, 2007, and Schwartz et al., 2008), contain the following scientific aspects: empiricism based evidence; creativity; and the social integration of science. The difference between these two constructs is that NOS describes the “*product of inquiry*” and NOSI describes the “*process of inquiry*” (Neumann & Kremer, 2013). An aspect of NOS, for example, is that scientific knowledge requires human inference, imagination, and creativity (Lederman, 2006, S. 304). An example for NOSI is that multiple methods of scientific investigations can be used to generate scientific knowledge (Schwartz et al., 2008, p. 4). Similarly, Wentorf et al. (2015) proposed the Nature of Scientist- (NoSt-) construct which

describes the personal characteristics and aspects of the regular work of scientists. Regarding the regular work of scientists, they differentiate seven scientific fields which include aspects such as creative, social, and investigative. This variety of scientific facets is not part of stereotypical views but, as previously mentioned, it is of great importance regarding choices in school subjects or vocations. The image conveyed in school is too removed from what scientists actually are like (Chinn and Malhotra, 2002). Because of the limited time, financial and logistical resources, it is often not possible to create authentic scientific situations in school. Therefore, out-of-school learning environments are a promising opportunity to close the gap between school science and actual science.

#### *7.2.4 Science labs for school students as out-of-school learning environments*

A fitting option to convey a realistic understanding are visits to authentic out-of-school learning environments such as science labs for school students. In Germany, these non-formal learning settings are quite widespread with more than 380 locations (<https://www.schuelerlabor-atlas.de/home/LabListe>), and very popular with teachers and students. The main focus of these out-of-school activities includes hands-on experiments different than the usual experiments in school and closer to current scientific research. These student laboratories are often located next to, or directly at, research institutes or universities and run by science researchers. This is one reason why it is easier to communicate authentic science in student laboratories than in school.

#### *7.2.5 Scientific videos with NOSI aspects*

Many student laboratories more closely reflect real scientific research and everyday life situations than school lessons. For an extended period of time the students' work with actual materials and instruments in an authentic learning setting on real research questions often connected to everyday life (cf. Braund & Reiss, 2006). Unfortunately, the variety of scientific aspects, or rather activities, is often only partially integrated into the programs of student laboratories. To make informed vocational choices, however, it is important for the students to get a complete insight into what it means to be a scientist and their regular work. These different aspects can be implemented in a student laboratory using various methods. For example, the students themselves can work as scientists. They still won't know, however, if what they are doing is actually the same as what scientists actually do. Based on this, Pea (1994) pointed out that direct contact to scientists can convey an authentic impression of science. This is often difficult to realise due to time constraints. Other options include videos showing scientists during their work, as videos have been demonstrated as a suitable option to promote the aimed for authenticity (Uhlmann & Priemer, 2010). For example, Goldman et al. (1994, 1996) showed videos to students concerning real-world

problems as well as real scientists solving the problem. Their study showed that authentic scientific videos could indeed promote motivation and interest in science. Keeping this in mind, we developed authentic videos showing scientists during their work and integrated a wide range of scientific activities to give an overview of the regular work of scientists. Afterwards, we embedded these videos into experimental stations of our nano related student laboratory program. In addition, we developed a questionnaire to measure the effect of the videos. The results are shown and discussed in this article.

### 7.3 Methods

#### *Overview and aims of the study*

Our project aims to promote an authentic image of science or rather scientists' regular everyday work. Students should learn about the diversity of scientific work and that scientists do not only perform experiments in laboratories or only work alone on their research projects. Therefore, we developed science videos which show scientists performing their regular work. We also integrated a wide spectrum of scientific activities into the videos as described in Authors (**accepted**). The videos were embedded into experimental stations within a student laboratory program. We compared two different groups of students: Students who performed only the experimental part and students who also watched the videos. We used a questionnaire with scientific activities as items, which follow the RIASEC+N dimensions described below to measure the effect of the videos.

This led to the following research questions:

1. To what extent do the videos influence students' perceptions of authenticity?

The student laboratory itself is an authentic scientific environment, but the videos also include actual scientists working on authentic tasks. Therefore, we expect the perceived authenticity to be enhanced by the videos.

2. To what extent does insight into science via videos change the students' perceptions of scientists' activities?

We included a wide range of different scientific activities in the videos. The activities we show in the videos are not covered by the stereotypical notions of the students (Solomon et al., 1994; Höttecke, 2004). Therefore, the videos will show activities already known to the students, but also activities not yet known to the students. We hypothesize that videos help students gain a more accurate perception of scientists' activities. We expect the stereotypical activities to be highly regarded, both with and without video insights. We expect students without videos to underestimate non-stereotypical activities.

### 7.3.1 *RIASEC+N model*

The regular activities of scientists which were integrated into the videos were categorised into seven so called RIASEC+N dimensions, whereby every letter of the acronym stands for one dimension as shown in Table 7.1 (Authors, **accepted**; Dierks et al., 2014). The RIASEC+N model originates from the RIASEC model (Holland, 1963), which presents a collection of diverse activities of different professions (Table 7.1) to suggest career choices. Dierks et al. (2014) and Wentorf et al. (2015) modified the RIASEC model for scientific activities and added *Networking* as a seventh dimension.

**Tab. 7.1** | Overview of Hollands RIASEC Dimensions and the Resultant RIASEC+N Dimensions.

Dimension	Acronym	Type of Activity	Example Profession (according to Holland, 1963)	Example Activity of Scientists (according to Wentorf et al., 2015)
Realistic	R	handicraft	Carpenter	performing measurements
Investigative	I	intellectual	Scientist	interpreting data
Artistic	A	creative	Actor	developing research ideas
Social	S	helping	Teacher	supervising students
Enterprising	E	managing	Politician	guiding working groups
Conventional	C	administratively; meticulous	Secretary	doing administrative tasks
Networking	N	collaborating	-	exchanging with scientists from other universities

### 7.3.2 *Instrument*

A two-part questionnaire was developed to answer the research questions and measure the video effects. In the first part we used the RIASEC+N dimensions, described above. We chose 39 selected scientific activities as items on a four-point Likert scale from strongly agree to strongly disagree to measure the students' perception of scientific work, as shown in Table 7.2 (Authors, **accepted**).

**Tab. 7.2** | Part I of the Questionnaire: RIASEC+N Dimensions for Measuring the Students' Perception Regarding Scientific Activities.

Dimensions	A scientist works at a university. What do you think such a scientist does all day? (Scientists = biologists; physicists; chemists; material scientists)				
	The regular everyday work of a scientist involves ...	Strongly disagree	Disagree somewhat	Agree somewhat	Strongly Agree
<b>Realistic</b>	performing experiments	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Investigative</b>	understanding experimental data	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Artistic</b>	developing new research ideas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Social</b>	supervising students	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Enterprising</b>	raising funds for research projects	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Conventional</b>	writing down measurement data	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Networking</b>	meeting colleagues from other departments	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Furthermore, we used seven items for measuring the students' prior expectations and post-hoc evaluation of authenticity. For these items we adapted the items of Schmidt et al. (2011), as shown in Table 7.3.

**Tab. 7.3** | Part II of the Questionnaire: Expectation and Evaluation of Authenticity.

	Example items	Strongly disagree	Disagree somewhat	Agree somewhat	Strongly Agree
Pre-test	I expect to have contact to scientists in the student lab	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Post-test	I had contact to scientists in the student lab	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 7.3.3 Learning Environment

During the course of the study, school classes visited the student laboratory for six hours on one day with their teachers. The pre- and post-evaluation took place there before and after the students participated in the program. The program comprises six different nano technological specific experimental stations and all students visited every station. At the experimental stations they worked together in groups of two to four students and one expert. The experts at the stations were university students with a science background.

### 7.3.4 Experimental stations

The stations, shown in Table 7.4, were developed in cooperation with scientists of the Collaborating Research Centre 677 “Function by Switching” (CRC 677) of Kiel University (Schwarzer et al., 2013). The scientists came from different scientific fields such as chemistry, physics, material science, and pharmacy. The specific research topics of the CRC 677 are switchable molecules and nanotechnology (<http://www.sfb677.uni-kiel.de/>). The experimental stations in the student laboratory were developed based on these topics. The students could work with modern technology and state-of-the-art instruments such as an atomic force microscope (Schwarzer et al., 2015) or a scanning tunnelling microscope to answer actual research questions at the stations. Table 7.4 shows an overview of the six developed stations. Each station was planned to take about 40 minutes and introduced with a few words from the expert. Afterwards, the students watched the videos and then performed the experiments with corresponding tasks.

**Tab. 7.4** | Overview of the Experimental Stations and the Videos Within the Student Laboratory Program.

Station	Experiment	Video
No 1	Synthesis of gold nanoparticles	-
No 2	Switching experiment with a spiropyran	x
No 3	Everyday products with switchable molecules	x
No 4	Computer simulations of molecules	x
No 5	Measurements of contact angles for analysing the Lotos-effect.	-
No 6	Measurements of nano structured surfaces with an AFM and STM	x

### 7.3.5 Scientific videos

For four of the six stations we developed scientific videos five to ten minutes in length (Table 7.4, Authors, accepted). For practical reasons, we did not produce videos for every station. Four videos also seem sufficient to present all scientific

working fields of the RIASEC+N dimensions. We made sure to include a broad spectrum of activities of each RIASEC+N dimension. To reach maximal authenticity, the videos show actual CRC 677 scientists during a typical work day. Moreover, the videos were adapted to the experiments so that they could be used as an introduction to the stations.



**Fig. 7.1** / Activities of scientists from the videos for all seven RIASEC+N dimensions.

### 7.3.6 Sample

A total number of 236 students (125 female and 111 male), 15 – 19 years of age and ranging from grades 10 to 13, participated in the study. These students visited the student laboratory between June 2017 and June 2018 and came from 14 different school classes in northern Germany.

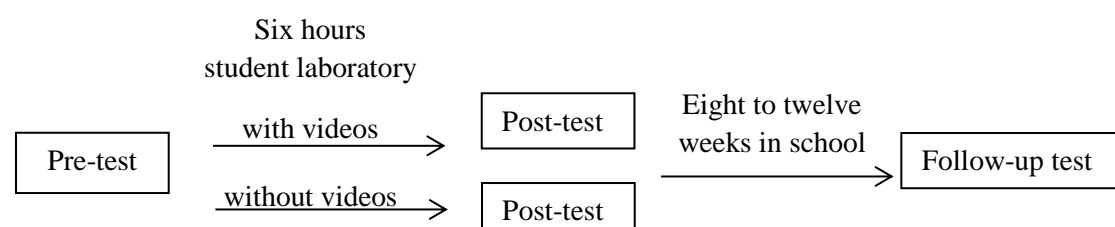
### 7.3.7 Experimental design

Participating students were tested directly before and after working through the experimental stations of the student laboratory. Half of the classes (7 school classes, 117 students) performed only the experiments with corresponding tasks and the other half (7 school classes, 119 students) also watched the videos as an introduction to the experimental stations. To have equal time-on-task for both groups, the students of the control group solved additional tasks as well. Eight to twelve weeks later, six of the



14 school classes were tested again with the follow-up-test (the other classes were unavailable).

A follow-up-test was conducted two to four months after the intervention to measure the long-term effect. However, only 36 students that watched the videos and 42 students that did not watch the videos participated in the follow-up-test.



**Fig. 7.2** / Overview of the experimental design.

### 7.3.8 Data analysis

For the evaluation of the data, means, standard deviations and reliabilities of the dimensions were calculated (Figures 7.3 and 7.4; Tables 7.5-7.8). The differences between the groups and the measuring points were analysed with *t*-tests and analyses of variance (ANOVAs), as shown in Table 7.5, 7.7 and 7.8.

## 7.4 Results

The results are divided into two parts. The first part presents the students' perceptions regarding regular scientific activities. These are categorised into the RIASEC+N dimensions. The second part presents the students' expectations and evaluations regarding the perceived authenticity before and after visiting the student laboratory.

### 7.4.1 Scientific activities

The reliabilities of the RIASEC+N dimensions are shown in Table 7.5. The values are mostly satisfactorily to good, ranging from Cronbach's  $\alpha = .60$  to  $.86$ , apart from the reliability of the dimension *Artistic*, which is lower for the pre value and should therefore be interpreted with caution. It is striking that the pre values of the RIASEC+N dimensions are generally lower than the values of the post-tests. The presumable cause may be the students' unawareness of various scientific activities before visiting the student laboratory.

**Tab. 7.5** | Number of items and reliabilities of the RIASEC+N dimensions (Number of tested students: n = 236 students).

Dimension	Number of items	Cronbach's $\alpha$	
		Pre-test	Post-test
Realistic	6	.60	.67
Investigative	8	.66	.75
Artistic	7	.40	.71
Social	4	.64	.79
Enterprising	3	.61	.86
Conventional	7	.74	.77
Networking	4	.60	.74

In general, the means in Figure 7.3 and Table 7.6 show high values for the dimensions *Realistic*, *Investigation* and *Conventional*, which include stereotypical activities such as performing measurements (R), analysing data (I) and writing down measurement data (C). The dimensions which include less stereotypical activities, such as *Artistic*, *Social* and *Enterprising*, show descriptively lower values.

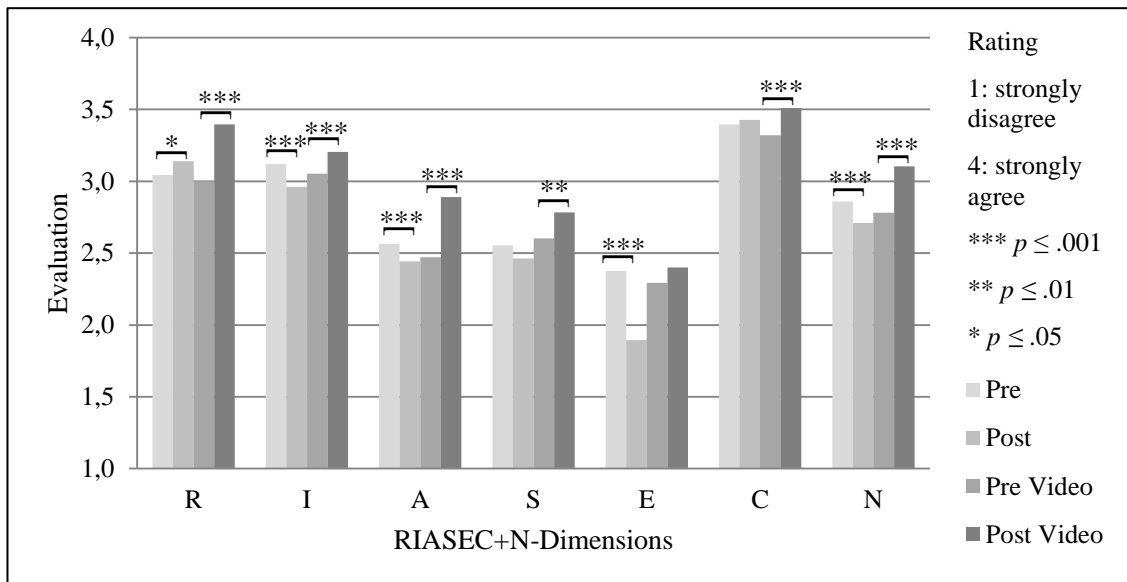
The effect sizes for describing the difference between the pre and post measuring points show low to high effects for most of the dimensions. In general, the effect sizes of the group that watched the videos show increasing effects, apart from the dimension *Enterprising*.

The dimensions *Realistic* and *Artistic* show large increasing effects with  $d = 0.94$  for the group of students that watched the videos, the dimension *Networking* shows a medium increasing effect size with  $d = 0.63$  and the dimensions *Investigative*, *Social* and *Conventional* show small increasing effect sizes. No difference exists between the pre- and post-measuring points of the dimensions *Enterprising* (Table 7.6).

In contrast to the group of students that watched the videos, the effect sizes of the group that did not watch the videos show decreasing effects for the dimensions *Investigative*, *Artistic*, *Enterprising* and *Networking*. The dimensions *Investigative*, *Artistic*, *Enterprising* and *Networking* show medium decreasing effects, the dimensions *Social* and *Conventional* did not show an effect and the dimension *Realistic* shows a medium increasing effect as shown in Table 7.6.

Furthermore, the results of the  $t$ -tests, in Table 7.7, do not show effects between the groups for the pre-measuring point except a small effect for the dimension *Artistic* ( $t(236) = 2.04$ ,  $p = .043$ ,  $d = 0.26$ ). In contrast, all dimensions show medium to large effects for the post- measuring point except the dimension *Conventional* as shown in Table 7.7.

In order to demonstrate the effectiveness of our interventions in contrast to the control group, we can show mostly medium to large effect sizes. The interaction effects were significant for all RIASEC+N dimensions as shown in Table 7.6. Significant time effects were found for the following dimensions *Realistic*, *Artistic*, *Enterprising* and *Conventional* and significant group effects were found for the dimensions *Artistic*, *Social*, *Enterprising* and *Networking*.



**Fig. 7.3** / Means and significances of the scientific activities or rather RIASEC+N dimensions of the two groups of students, who watched the videos and did not watched the video at two different measuring points (before and after taking part in the student laboratory program).

**Tab. 7.6** | Means, standard deviations, group, time and interaction effects (significances and effect sizes) for the RIASEC+N dimensions (Pre- & post-tests with video:  $n = 119$ ; pre- & post-tests without video:  $n = 117$ ).

Dimension	Time of measurement	Video	M	SD	$p$	Cohen's $d$
Realistic	Pre	-	3.04	.40	.011	.22
	Post	-	3.14	.49		
	Pre	X	3.00	.43	< .001	.94
	Post	X	3.34	.41		
Interaction effect		$F(1,234) = 19.957, p < .001, \eta^2 = .079$				
Group effect		$F(1,234) = 2.458, p = .118$				
Time effect		$F(1,234) = 64.905, p < .001, \eta^2 = .217$				
Investigative	Pre	-	3.12	.38	< .001	-.40
	Post	-	2.96	.43		
	Pre	X	3.05	.39	< .001	.37

	Post	X	3.21	.48		
Interaction effect			$F(1,234) = 33.494, p < .001, \eta^2 = .125$			
Group effect			$F(1,234) = 3.430, p = .065$			
Time effect			$F(1,234) = < 1, p = .927$			
Artistic	Pre	-	2.57	.35		
	Post	-	2.44	.41	.001	-.34
	Pre	X	2.47	.31		
	Post	X	2.89	.53	< .001	.94
Interaction effect			$F(1,234) = 75.316, p < .001, \eta^2 = .243$			
Group effect			$F(1,234) = 16.543, p < .001, \eta^2 = .066$			
Time effect			$F(1,234) = 22.454, p < .001, \eta^2 = .088$			
Social	Pre	-	2.55	.49		
	Post	-	2.46	.68	.119	
	Pre	X	2.60	.56		
	Post	X	2.78	.62	.006	.32
Interaction effect			$F(1,233) = 9.716, p = .002, \eta^2 = .040$			
Group effect			$F(1,233) = 8.464, p = .004, \eta^2 = .035$			
Time effect			$F(1,234) = 1.028, p = .312$			
Enterprising	Pre	-	2.38	.59		
	Post	-	1.90	.74	< .001	-.71
	Pre	X	2.30	.58		
	Post	X	2.41	.83	.141	
Interaction effect			$F(1,233) = 39.545, p < .001, \eta^2 = .145$			
Group effect			$F(1,233) = 7.761, p = .006, \eta^2 = .032$			
Time effect			$F(1,233) = 14.961, p < .001, \eta^2 = .060$			
Conventional	Pre	-	3.40	.40		
	Post	-	3.43	.45	.337	
	Pre	X	3.32	.41		
	Post	X	3.51	.39	< .001	.47
Interaction effect			$F(1,234) = 9.915, p = .002, \eta^2 = .041$			
Group effect			$F(1,234) = < 1, p = .945$			
Time effect			$F(1,234) = 19.498, p < .001, \eta^2 = .077$			
Networking	Pre	-	2.86	.51		
	Post	-	2.71	.60	.001	-.27
	Pre	X	2.78	.40	< .001	.63

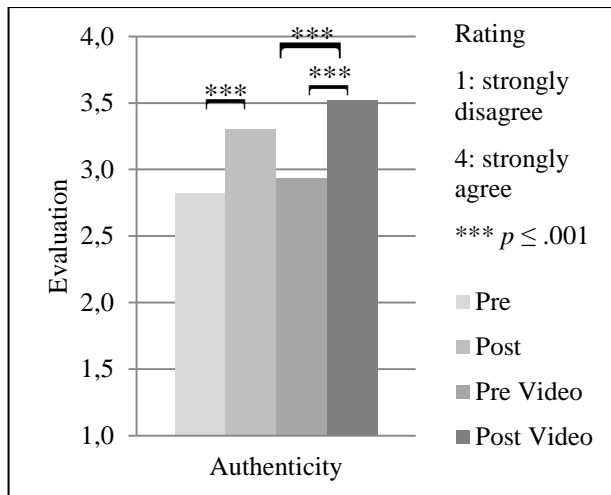
	Post	X	3.10	.59
Interaction effect			$F(1,234) = 47.081, p < .001, \eta^2 = .167$	
Group effect			$F(1,234) = 6.918, p = .009, \eta^2 = .029$	
Time effect			$F(1,234) = 6.372, p = .012$	

**Tab. 7.7** | Significances (p) and effect sizes (Cohen's d) for the RIASEC+N dimensions between both groups (With video: n = 119; without video: n = 117) for the pre- and post- time of measurement.

Dimension	<i>Pre time of measurement</i>		<i>Post time of measurement</i>	
	<i>p</i>	Cohen's <i>d</i>	<i>p</i>	Cohen's <i>d</i>
Realistic	-	-	.001	0.44
Investigative	-	-	< .001	0.53
Artistic	.043	0.26	< .001	0.94
Social	-	-	< .001	0.51
Enterprising	-	-	< .001	0.64
Conventional	-	-	-	-
Networking	-	-	< .001	0.66

#### 7.4.2 Authenticity

Our expectations for the perception of authenticity (Figure 7.4 and Table 7.8) before visiting the student laboratory were rated relatively high in both groups with means of 2.82 and 2.94, respectively. For both groups the expectations were fulfilled and the students rated the perceived authenticity with  $M = 3.30$  for the group of students who did not watch the videos ( $t(114) = -6.96, p < .001, d = 0.87$ ) and  $M = 3.52$  for the group that watched the videos ( $t(115) = -9.07, p < .001, d = 1.08$ ), significantly higher than before. The effect sizes (Cohen's  $d$  between these two measuring points), shown in Table 7.8, are also high with  $d = 0.87$  (without videos) and  $d = 1.08$  (with videos) for both groups. The differences between both groups are not significant for the pre-tests but significant for the post-tests ( $t(233) = -3.60, p < .001, d = 0.47$ ). Furthermore, the main effect of the group is small with  $\eta^2 = 0.03$ , the main effect of time is large with  $\eta^2 = 0.48$  and the interaction effect is not significant. Based on this, presumably not only the visit to the student laboratory but also the videos had a small additional effect regarding the perceived authenticity.



**Fig. 7.4** / Expectations and evaluations of the perceived authenticity: Means and significances of the pre- and post-tests from students who watched the videos ( $n = 119$ ) and students who do not watched the videos ( $n = 117$ ).

**Tab. 7.8** | Means, standard deviations, group, time and interaction effects (significances and effect sizes) of the expectations and evaluations of the perceived authenticity (Pre- & post-tests with video ( $n = 119$ ) & without ( $n = 117$ ) video).

Dimension	Pre/Post	Video	M	SD	$p$	Cohen's $d$	$\alpha$
Authenticity 7 items	Pre	-	2.82	.60	< .001	.87	.857
	Post	-	3.30	.50			.761
	Pre	X	2.94	.63	< .001	1.08	.865
	Post	X	3.52	.44			.782
Interaction effect		$F(1,229) = 2.048, p = .154$					
Group effect		$F(1,229) = 7.316, p = .007, \eta^2 = .031$					
Time effect		$F(1,229) = 213.009, p < .001, \eta^2 = .482$					

## 7.5 Discussion and Limitations

To answer the first research question (To what extend does the insight into science via videos change the students' perceptions of scientists' activities?) we will discuss the results shown in Table 7.6 and 7.7 and Figure 7.3. It is important, however, to keep in mind the low reliability of the dimension *Artistic* in the pre-test. Presumably, the students were not aware of some of these activities such as "designing a scientific poster" before watching the videos. Consequently, the resulting Cronbach's  $\alpha$  value for the post-test is much higher.

The results show significantly higher means for the students' perceptions of scientists' activities on each dimension except the dimension *Enterprising* after watching the videos. In contrast, students who did not watch the videos showed

decreasing means for the dimensions *Investigative*, *Artistic*, *Networking* and especially *Enterprising*. This resulted in highly significant differences with large effect sizes ( $0.44 \leq d \leq 0.94$ ) between the intervention and the control group after visiting the student laboratory (except for the dimension *Conventional*).

The missing effect of the dimension *Conventional* between both groups and the increasing effect of the dimension *Realistic* for the control group might be explained by the experimental part of the laboratory program. Here, the students from both groups carried out activities belonging to both of these dimensions such as “performing measurements” (*Realistic*) or “writing down measurement data” (*Conventional*). In contrast, most activities of the other dimensions such as “raising funds for research projects” (*Enterprising*), “meeting colleagues from other departments” (*Networking*) or “designing a scientific poster” (*Artistic*) were not included into the experimental part. Accordingly, the related means of these dimensions significantly decreased for the group that did not watch the videos.

Most of the stereotypical aspects described by Solomon et al. (1994) can be sorted into the dimensions *Conventional*, *Realistic* and *Investigative*, because of the experimental and knowledge related aspects. As expected, the activities of these stereotypical dimensions were rated as highest before and also after visiting the student laboratory. Therefore, we can confirm that the students share the stereotypical views as described by Solomon et al. (1994). The assessment of the less stereotypical working fields of scientists could be significantly increased through the videos except for the dimension *Enterprising*. These significant increases could not be determined for the control group so that we can confirm the effectiveness of the videos regarding the considered activities. However, we cannot say for sure whether the RIASEC+N dimensions completely cover all relevant scientific activities.

In summary, the students’ stereotypical notions (Solomon et al., 1994) could be verified and it was possible to diversify these notions using videos, especially for the working fields *Artistic*, *Social* and *Networking*, which are underestimated in general. Diverse and therefore authentic conceptions about science are important for students already interested in science, but unsure whether they should choose a science field in school, university or as a profession. Furthermore, the rather negative reputation of “social clumsy” scientists could be changed using videos, especially through the dimensions *Networking* and *Social*.

To answer the second research question (To what extent do the videos influence the authenticity of students’ perception?) we will discuss the results in Table 7.8 and Figure 7.4. Our expectations for the perceived authenticity before the student lab day were already rather high. Nevertheless, the expectations were even exceeded, as both groups had significantly higher means in their evaluations after visiting the student laboratory. As to why this was the case even for the group that did not watch the videos, one could assume the experimental stations made a very authentic impression, as those were developed in cooperation with scientists based on their actual research.

Furthermore, the student laboratory is located next to the university, and the students could work with modern scientific instruments to answer actual research questions. Based on this, the experimental part already has a high degree of authenticity. However, the group that also watched the videos rated the perceived authenticity significantly higher ( $d = 0.47$ ) than the group that did not watch the videos. It is most important that the students perceive the visit to the student laboratory as authentic so that they believe the content of the program and the videos are realistic; that they for example accept the actors in the videos as real scientists and that the shown activities are typical for scientists' work days. Furthermore, the authentic perceptions are important to promote interest in science. Pawek (2009) could prove a positive influence of the authenticity to the actual interest by questioning 764 students before and after visiting four different student laboratories.

Lastly, the long-term effect of the videos was measured, but unfortunately only 33% of the sample was available for the follow-up study. The results indicate a two to four month continuing effect of the perceived authenticity through the videos after the intervention. However, based on the small sample, we cannot say for sure if the videos have or do not have a long-term-effect and further investigations would be necessary.

## **7.6 Overall Conclusion**

The videos are a suitable way to convey a realistic and more diverse idea about typical scientific activities. Furthermore, the perceived authenticity of out-of-school learning environments such as student laboratories could also be promoted through the use of videos. The long-term effects for the perceived authenticity also seem to be promising, but regarding the assessed scientific activities, the students' answers to the follow-up-test provided rather disappointing results. However, those results are not conclusive due to the small sample size of the follow-up study.

## **7.7 Perspectives**

The videos offer great potential for further investigations. For example, one could assess the possible influence of the videos regarding additional expectations and evaluations in addition to the expectations and evaluations of the perceived authenticity. In previous studies, motivation and interest in science were often evaluated and most of the results only showed short-term effects (Engeln, 2004; Guderian et al., 2006; Brandt, 2005). Based on this, it would be useful to investigate if the videos can prolong this effect just like for the expectations and evaluations of the perceived authenticity.

Furthermore, the developed videos not only show typical activities of scientists, they also show entire sequences of scientific processes (NOSI) from start (with the development of a research question) to the finished product of scientific inquiry



(NOS) (Neumann & Kremer, 2013). Therefore, further investigations regarding the students' understanding of NOS and NOSI through the videos would be of interest.

As the actors of the videos are real scientists, it would also be interesting if the videos change the students' perception regarding the stereotypical characteristics of scientists such as age, sex and appearance or if the students retain the idea of an old man in a white coat, with a beard or unshaven, as Höttecke (2004) summarised.

In the presented study, the experimental part and the videos were part of an excursion to our student laboratory. Both the experimental part as well as the videos increased the expected perception of authenticity. Based on this, it would be useful to know if these effects depend on the out-of-school learning environment or if it would also be possible to promote the idea about scientific activities and the perceived authenticity through the same experiments and videos in school. However, we can already confirm that student laboratories have the potential to promote authentic perceptions as well as conceptions about science, and they are suitable additions to regular school lessons.



# Kapitel 8

---

**PUBLIKATION 5: Authentisches Lernen im Schülerlabor – Entwicklung und Validierung von Videos zur Förderung der authentischen Wahrnehmung von Naturwissenschaften im Schülerlaborprogramm *klick!*<sup>8</sup>**

---

<sup>8</sup> Stamer, I., Schwarzer, S. & Parchmann, I. (2019). Authentisches Lernen im Schülerlabor – Entwicklung und Validierung von Videos zur Förderung der authentischen Wahrnehmung von Naturwissenschaften im Schülerlaborprogramm *klick!*. In K. Sommer, J. Wirth, M. Vanderbeke (Hrsg.): *Handbuch Forschen im Schülerlabor – Theoretische Grundlagen, empirische Forschungsmethoden und aktuelle Anwendungsgebiete*. Münster: Waxmann-Verlag.

## 8.1 Einführung – Motivation

Es ist ein authentisches Bild naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen bei den Schüler\*innen von Bedeutung, um die Naturwissenschaften verstehen zu können. Der Begriff Authentizität wird im Rahmen dieser Studie mit Bezug auf die Berufswelt verwendet. Es geht darum, ein möglichst authentisches Bild des Arbeitsalltags von naturwissenschaftlich Forschenden zu vermitteln, mit primärem Fokus auf die Universitäten. Hierfür bieten Schülerlabore als außerschulische Lernorte mit Bezug zur Forschung großes Potential. Bisherige empirische Untersuchungen zeigen, dass größtenteils unvollständige und teilweise falsche Vorstellungen des Berufsbilds bei Jugendlichen vorliegen (Tintori & Palomba, **2017**; Solomon, Scott & Duveen, **1994**). Stereotype Vorstellungen werden unter anderem durch Medien oder das soziale Umfeld verbreitet und sind eine Ursache dafür, dass sich nur speziell, durch diese Stereotypen angesprochene Schüler\*innen, für eine naturwissenschaftliche Karriere entscheiden (Hannover & Kessels, **2002**). Davon ausgehend ist es das Ziel der Studie den Schüler\*innen im Schülerlabor einen authentischeren Eindruck von naturwissenschaftlichen Tätigkeiten zu vermitteln, wobei mit „authentisch“ hier vor allem die Variation und Vielfalt der Tätigkeiten von Naturwissenschaftler\*innen gemeint ist (vgl. Sommer, Firnstein und Rothstein, in diesem Buch).

Zur Vermittlung eines adäquaten Wissenschaftsverständnisses eignet sich nach Lee & Songer (**2003**) u. a. der Kontakt zu Forschenden. Den persönlichen Kontakt, vor allem zu Professor\*innen, regelmäßig zu gewährleisten, ist im Regelfall aus zeitlichen Gründen im Lernort Schülerlabor jedoch nicht umsetzbar. Daher wurden im Rahmen dieser Studie Videos über die Arbeit naturwissenschaftlich Forschender entwickelt und in das Programm des Schülerlabors integriert. Die Videoentwicklung fand in Zusammenarbeit mit Forschenden des Sonderforschungsbereiches „Funktion durch Schalten“ (SFB 677) statt (Schwarzer, Rudnik & Parchmann, **2013**). Anschließend wurde die Wirksamkeit der Videos mittels eines Fragebogens gemessen, der ein authentisches Wissenschaftsverständnis und die erwartete und bewertete Wahrnehmung von Authentizität erfasst. Hierfür wurden eine Prä-, Post- und Follow-up-Befragung durchgeführt, die neben den notwendigen Vorarbeiten in dem nachfolgenden Beitrag vorgestellt wird.

## 8.2 Forschungsfragen

Im Rahmen des vorgestellten Projektes zur Öffentlichkeitsarbeit innerhalb des SFB 677 werden folgende Forschungsfragen untersucht:

- Welche Wirkung haben Videos zur naturwissenschaftlichen Forschung mit einem speziellen Fokus auf integrierte Tätigkeitsaspekte auf das Wissenschaftsverständnis von Schüler\*innen?

- Inwieweit wirken sich die Einblicke in die naturwissenschaftliche Forschung durch Videos auf die wahrgenommene Authentizität bei Schüler\*innen im Schülerlabor *klick!* (Universität Kiel) aus?

### 8.3 Vorarbeiten

Bevor die mögliche Wirkung von Videos zur Förderung der authentischen Wahrnehmung des Berufsbildes von Forschenden ermittelt werden konnte, waren Vorarbeiten wie die Entwicklung eines geeigneten Messinstrumentes sowie die Planung und Erstellung der Videos notwendig.

#### 8.3.1 Fragebogenentwicklung

Als Messinstrument wurde ein Fragebogen, bestehend aus zwei Abschnitten, entwickelt. Der erste Abschnitt sollte dazu dienen das Wissenschaftsverständnis der Schüler\*innen im Hinblick auf die Wahrnehmung von Tätigkeiten aus der naturwissenschaftlichen Forschung zu messen. Mit dem zweiten Abschnitt sollten die Erwartungen und Bewertungen der wahrgenommenen Authentizität im Schülerlabor seitens der Schülerinnen und Schüler erhoben werden.

Für die Entwicklung des ersten Abschnittes des Fragebogens, zur Messung des Wissenschaftsverständnisses, wurden zunächst Interviews mit acht Professoren des SFB 677 über deren Arbeitsalltag durchgeführt und ausgewertet (Laherto et al., **2018**). Hierdurch konnten viele typische naturwissenschaftliche Tätigkeiten identifiziert werden, welche regelmäßig von Forschenden durchgeführt werden.

Zur theoriebasierten Kategorisierung der Tätigkeiten wurde das RIASEC+N-Modell (Dierks, Höffler & Parchmann, **2014**; Wentorf, Höffler & Parchmann, **2015**), eine Weiterentwicklung des ursprünglichen RIASEC-Modells von Holland (**1997**) aus der Berufswahlforschung, gewählt. Im RIASEC+N-Modell entspricht jeder Buchstabe des Akronymes, RIASEC+N, einem Tätigkeitsfeld von Forschenden, wie in Tab. 8.1 dargestellt ist.

**Tab. 8.3** | Übersicht der Kategorien des RIASEC-Modells nach Holland (**1997**) mit Beispielberufen und des RIASEC+N-Modells nach Wentorf et al. (**2015**) mit Beispieltätigkeiten von Forschenden.

Dimension	Akronym	Art der Tätigkeit	Beispielberuf (nach Holland, 1997)	Beispieltätigkeit von Forschenden (nach Wentorf et al., 2015)
Realistic	R	Handwerklich	Handwerker	Messungen durchführen
Investigative	I	Intellektuell	Forschende	Daten interpretieren
Artistic	A	Kreativ	Künstler	Forschungsfragen entwickeln

Social	S	Sozial	Lehrende	Betreuung von Studierenden
Enterprising	E	Unternehmerisch	Manager*innen	Ein Projekt organisieren und leiten
Conventional	C	Administrativ, akribisch	Sekretär*innen	Verwaltungsaufgaben erledigen
Networking	N	<i>Zusammenarbeitend</i>	-	Austausch mit Forschenden anderer Universitäten

**Tab. 8.2** | Ausschnitt des Fragebogens mit einer vierstufigen Likert-Skala und Items des Modells RIASEC+N, zur Messung der Tätigkeitsfelder von Forschenden.

<b>Ein/e Naturwissenschaftler/in arbeitet an einer Universität, wie der CAU zu Kiel. Wie stellen Sie sich den Arbeitsalltag einer solchen Naturwissenschaftlerin bzw. eines solchen Naturwissenschaftlers vor?</b> <b>(Naturwissenschaftler*in = Biologe/Biologin; Physiker*in; Chemiker*in; Materialwissenschaftler*in)</b>				
<b>Ein/e Naturwissenschaftler/in beschäftigt sich im Arbeitsalltag regelmäßig mit ...</b>	<b>Stimmt gar nicht</b>	<b>Stimmt wenig</b>	<b>Stimmt ziemlich</b>	<b>Stimmt völlig</b>
der Durchführung von Experimenten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
der Auswertung gemessener Daten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
dem Besprechen von Übungsaufgaben mit Studenten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Für die Entwicklung des Messinstruments von Wentorf et al. (2015) wurden sowohl Antworten von Schüler\*innen als auch von Forschenden berücksichtigt. Da es in der vorgestellten Studie allerdings darum geht, zu messen, inwiefern Schüler\*innen die unterschiedlichen Tätigkeitsfelder von Forschenden als authentisch wahrnehmen, wurde das Messinstrument von Wentorf et al. adaptiert<sup>9</sup> (Stamer et al., 2019). Zur Einschätzung der Gewichtung der unterschiedlichen Tätigkeitsbereiche wurde eine vierstufige Likert-Skala von *stimmt gar nicht* bis *stimmt völlig* verwendet wie in Tab. 8.2 angegeben wird.

Für den zweiten Abschnitt des Fragebogens, zur Messung der Erwartungen und Bewertungen der wahrgenommenen Authentizität, wurden sieben Items gewählt, wobei fünf der Items aus dem ursprünglichen Fragebogen von Schwarzer &

<sup>9</sup> Gütekriterien des RIASEC+N Fragebogens können in Stamer et al. (2019) nachgelesen werden.

Parchmann (2015) übernommen wurden. Zwei weitere Items wurden neu entwickelt, wobei ebenfalls eine vierstufige Likert-Skala von *stimmt gar nicht* bis *stimmt völlig* zur Einschätzung der Items gewählt wurde. In Tab. 8.3 werden Beispielitems des Fragebogens zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten dargestellt. Die Formulierung der Items des Follow-up-Fragebogens stimmt mit den Formulierungen der Post-Befragung überein.

**Tab. 8.3** | Beispielitems des Fragebogens zur Messung der Erwartungen und Bewertungen der wahrgenommenen Authentizität.<sup>10</sup>

Messzeitpunkt	Beispielitem
Prä	Von einem Besuch im Schülerlabor erwarte ich, dass ich lerne, wie in der Forschung gearbeitet wird.
Post / Follow-up	Im Schülerlabor habe ich gelernt, wie in der Forschung gearbeitet wird.

### 8.3.2 Videoplanung & -entwicklung

Für die Videoentwicklung wurden zunächst grundsätzliche Punkte zur optimalen Videolänge und -anzahl und zur Auswahl der Protagonisten geklärt. Diesbezüglich wurde basierend auf einer Pilotstudie, welche im Artikel Stamer et al. (2019a) vorgestellt wird, entschieden vier Videos mit einer Länge von fünf bis zehn Minuten zu produzieren. Als Akteure wurden Forschende der Universität zu Kiel aus den entsprechenden Fachrichtungen des SFB 677 gewählt. Auch wenn diese nicht darin geübt waren, vor der Kamera zu stehen, wurde diese Entscheidung getroffen, um die wahrgenommene Authentizität zu fördern. Als Drehorte wurden, sofern möglich, die Arbeitsplätze der Forschenden gewählt. Auswahlkriterien waren hierbei u. a. die Lichtverhältnisse, die Akustik, die Raumaufteilung sowie die für den Videodreh benötigte Einrichtung, wie Abzüge und Geräte.

Außerdem wurde bei der Videoentwicklung darauf geachtet, dass die zuvor gesammelten Tätigkeiten der Forschenden, welche auch Inhalt des RIASEC+N-Fragebogens sind, explizit und zielgerichtet in die Videos integriert wurden. Hierbei wurden immer zwei Bereiche der RIASEC+N Kategorien in den Videos abgedeckt.

Nachdem die allgemeinen Rahmenbedingungen, die Anzahl und Länge der Videos, die Akteure, die Drehorte und die fachlichen Themen der Videos, für den Videodreh entschieden waren, wurden detaillierte Drehbücher der Videos verfasst. Außerdem wurde berücksichtigt, dass die vier Videos zu ausgewählten Experimenten des Schülerlaborprogrammes *klick!* passen, wie in im Folgeabschnitt 4 dargestellt wird.

<sup>10</sup> Gütekriterien des Fragebogens zur Messung der Erwartungen und Bewertungen der wahrgenommenen Authentizität können in Schwarzer und Parchmann (2015) nachgelesen werden.

## 8.4 Schülerlaborprogramm

Das Schülerlaborprogramm *klick!* wurde für die 10. bis 13. Klassenstufe konzipiert und stellt eines von sieben Programmen der *Kieler Forschungswerkstatt* dar. Die Experimente des *klick!* Programms wurden in Zusammenarbeit mit Forschenden des SFB 677 entwickelt und behandeln die Themenbereiche Nanomaterialien, Methoden und Verfahren sowie chemische Schalter<sup>11</sup>. Insgesamt beinhaltet das Programm die in Tab. 8.4 dargestellten Experimentierstationen, welche während eines sechsständigen Laborbesuchs von allen Schüler\*innen (in zweier bis vierer Gruppen) durchlaufen werden.

**Tab. 8.4** | Stationen im Schülerlaborprogramm *klick!* mit/ohne Integration von Videos aus der SFB677-Forschung.

Station im Schülerlaborprogramm <i>klick!</i>	Integriertes Video
Die Synthese von Goldnanopartikeln in einem Leidenfrost-Reaktor	Nein
Versuche mit dem chemischen Schalter Spiropyran	Ja
Versuche mit verschiedenen Alltagsgegenständen, die chemische Schalter enthalten	Ja
Computersimulationen von unterschiedlichen Molekülen	Ja
Kontaktwinkelmessungen zur Untersuchung des Lotos-Effektes	Nein
Vermessungen von Oberflächen mit einem Rasterkraft- und Rastertunnelmikroskop	Ja

Nachdem die vier Videos thematisch passend zum Schülerlaborprogramm entwickelt wurden, war es möglich, diese in die vier in Tabelle 4 dargestellten Experimentierstationen des Schülerlaborprogrammes zu integrieren. Die Stationen wurden den Videos hierbei so angepasst, dass die Schüler\*innen nach einer kurzen Einleitung an der jeweiligen Station ein Video ansahen, welches thematisch zu dem darauf folgenden Experiment passte. Die Forschenden des SFB 677 leiteten dadurch die Tätigkeiten der Schülerinnen und Schüler ein.

## 8.5 Wirksamkeit der Videos im Schülerlabor

Nach einer Pilotierungsphase der Videos wurde abschließend deren Wirksamkeit durch eine Befragung mittels des oben in Auszügen vorgestellten Fragebogens (vgl. Tab. 1 und Tab. 2) gemessen. Hierfür wurden die Schüler\*innen in einem Kontrollgruppendesign in einer Prä-, Post- und Follow-up-Erhebung unmittelbar vor und nach ihrem Besuch im Schülerlabor und zwei bis vier Monate im Anschluss befragt. Dabei erhielt die Kontrollgruppe ( $n = 117$  Schüler\*innen) anstelle der Videos

---

<sup>11</sup> Chemische Schalter sind Moleküle, die durch externe Reize wie Licht einer bestimmten Wellenlänge ihren Zustand und somit auch bestimmte Eigenschaften ändern, s. auch Chemie-Nobelpreis 2016.



Zusatzaufgaben an den Stationen, sodass beide Gruppen die gleiche Anzahl an Stunden im Schülerlabor verbrachten. Die Ergebnisse der Prä- und Post-Befragungen zeigen, dass das Verständnis von naturwissenschaftlichen Tätigkeiten bei den Schüler\*innen, denen die Videos gezeigt wurden ( $n = 119$  Schüler\*innen), signifikant gesteigert werden konnte. Dies gilt besonders hinsichtlich der stereotypen Tätigkeitsfelder, denen die Dimensionen *Artistic* und *Networking* angehören. Die Ergebnisse der berechneten t-Tests ergaben für die Dimension *Artistic* eine hohe Effektstärke mit  $d = 0,94$  und für die Dimension *Networking* eine mittlere Effektstärke mit  $d = 0,63$ . Die Ergebnisse der Kontrollgruppe zeigen dagegen eine signifikante Abnahme hinsichtlich dieser beiden Dimensionen. Bei der Betrachtung der wahrgenommenen Authentizität ergaben die berechneten t-Tests sowohl für die Interventionsgruppe als auch für die Kontrollgruppe hohe Effektstärken. Diese und weitere Ergebnisse können in Stamer, David, Höffler, Schwarzer & Parchmann (2019b) nachgelesen werden. Durch diese Erkenntnisse konnte demnach eine durchaus positive Wirkung der Videos sowohl auf das Wissenschaftsverständnis (im Hinblick auf die Wahrnehmung von Tätigkeiten in der naturwissenschaftlichen Forschung) als auch auf die Erwartungen und Bewertungen der wahrgenommenen Authentizität der Schüler\*innen festgestellt werden.

## 8.6 Zusammenfassende Diskussion & Fazit

Durch den adaptierten RIASEC+N-Fragebogen ist es möglich, Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Forschungstätigkeiten/Berufsfeldern von Forschenden in den Naturwissenschaften systematisch zu erfassen, ohne bestimmte Stereotypen zu evozieren. Hierbei ist zu erwähnen, dass durch die aus den Interviews charakterisierten Tätigkeiten nur die Selbstwahrnehmungen der Forschenden über ihren Arbeitsalltag erfasst wurden; objektive Parameter, wie etwa externe Beobachtungen über Tagesabläufe o. Ä., wurden bei der Fragebogenentwicklung nicht berücksichtigt. Auf Basis der charakterisierten Tätigkeiten konnten vier Videos aus der Forschung entwickelt und in die Stationen im Schülerlabor *klick!* integriert werden. Die Wirksamkeit der Videos wurde quantitativ mit dem RIASEC+N-Fragebogen durch eine Prä-, Post- und Follow-up-Befragung ermittelt. Es wurde (erwartungsgemäß) deutlich, dass den Schüler\*innen die stereotypen Tätigkeiten, wie das Durchführen von Experimenten im Labor (*Realistic*), vor dem Besuch im Schülerlabor bekannter waren als die weniger stereotypen Tätigkeiten wie die Betreuung von Studierenden (*Social*). Außerdem zeigten Schüler\*innen, denen die Videos vorgespielt wurden, nach dem Schülerlaborbesuch ein differenzierteres Verständnis zu wissenschaftlichen Tätigkeiten im Vergleich zur Kontrollgruppe.



# Kapitel 9

---

## Weitere untersuchte Variablen im *klick!:*labor

### 9.1 Einleitung

In diesem Kapitel sollen, neben der bereits in Kapitel 7 vorgestellten erwarteten und wahrgenommenen Authentizität der Schüler\*innen, die Erwartungen und Bewertungen bezüglich des Interesses, der Motivation, des Experimentierens, der Selbsttätigkeit und des Fachwissens vor und nach einem Besuch im *klick!:*labor vorgestellt werden.

Hierbei führte, wie bei den zuvor beschriebenen Untersuchungen (Kapitel 7 & 8), eine Gruppe Schüler\*innen die Versuche im Schülerlabor durch (Kontrollgruppe) und eine weitere Gruppe bekam zusätzlich Videos als Einblicke in den Arbeitsalltag von naturwissenschaftlich Forschenden zu sehen (Interventionsgruppe). In Kapitel 6 (Stamer et al., 2019) können Details zur Videoentwicklung und den Inhalt der Videos nachgelesen werden.

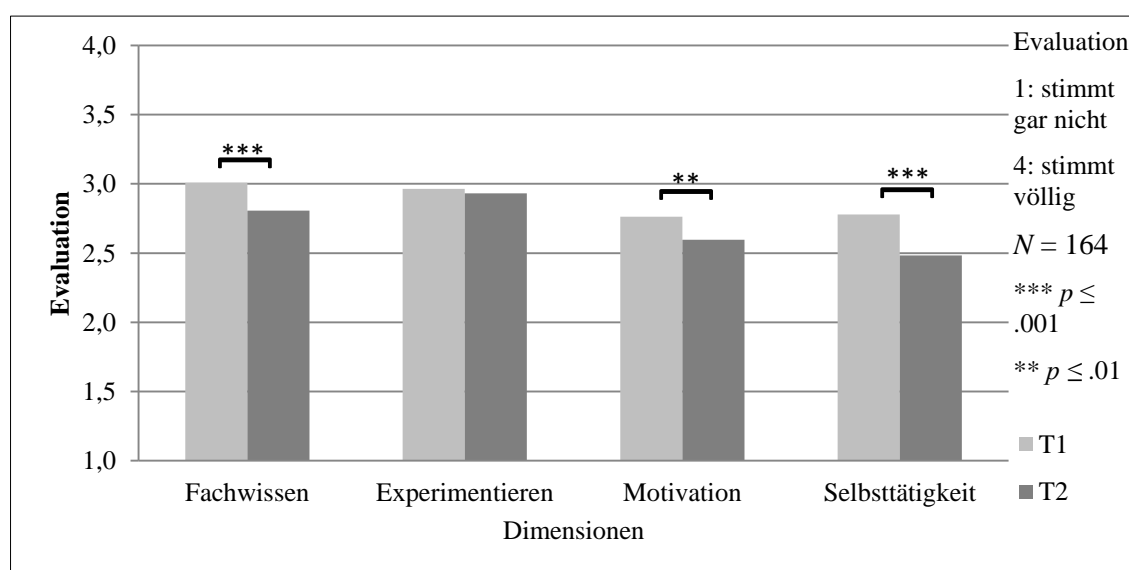
Die Erwartungen und Bewertungen des *klick!* Programms bezüglich des Interesses, der Motivation, des Experimentierens, der Selbsttätigkeit und des Fachwissens wurden im Rahmen der Studie aus den im Folgenden beschriebenen Gründen evaluiert.

Nach Haupt et al. (2013) sollte das selbstständige Experimentieren und Arbeiten der Schüler\*innen im Mittelpunkt aller Schülerlaborprogramme stehen, da hierdurch das Interesse und die Motivation an Naturwissenschaften gefördert werden kann (Engeln & Euler, 2004; Braund & Reiss, 2006).

Die Förderung des Interesses an Naturwissenschaften ist außerdem, wie in Kapitel 1.1 beschrieben wird, eines der Hauptziele von Schülerlaboren (Engeln & Euler, 2004), weshalb dieses neben der Förderung der Motivation und des Fachwissens eine wichtige Rolle in bisherigen Evaluationsstudien von Schülerlaboren spielt (Engeln, 2004; Glowinski, 2007; Pawek, 2009). Der Grund

hierfür ist, dass Schülerlabore ein großes Potential besitzen diese Komponenten durch eine authentische Lernumgebung, einen engen Bezug zur echten Forschung und einer hohen Betreuungsrelation der Schüler\*innen zu fördern. Als übergeordnetes Ziel soll hierdurch unter anderem die Anzahl zukünftiger kompetenter Fachkräfte gesichert werden (Driver et al., 1996).

Zudem wurden die genannten Variablen, mit Ausnahme des Interesses, bereits vor Beginn der vorgestellten Studie von Schwarzer & Parchmann (2015) im *klick!labor* untersucht. Wie in Abb. 9.1 dargestellt wird, konnten die Erwartungen bezüglich des Experimentierens hierbei erfüllt werden, die Erwartungen bezüglich aller weiteren Variablen konnten dagegen allerdings nicht erfüllt werden und nahmen signifikant ab.



**Abb. 9.1** | Ergebnisse einer Vorstudie von Schwarzer & Parchmann (2015) bezüglich der Erwartungen und Bewertungen der Schüler\*innen vor (T1) und nach (T2) dem Besuch im *klick!labor*.

Das Interesse an Naturwissenschaften wurde in der Studie von Schwarzer & Parchmann (2015) nicht erhoben. Aufgrund der oben beschriebenen großen Bedeutung der Interessensförderung im Rahmen der Schülerlaborforschung wurden die Untersuchungen der hier vorgestellten Teilstudie um die Evaluation des Interesses an Naturwissenschaften erweitert. Außerdem kann durch die Vermittlung von authentischen Wissenschaftsvorstellungen, dessen Förderung eines der Ziele der vorgestellten Promotionsstudie war, einen positiven Einfluss auf das Interesse der Schüler\*innen haben (Pawek, 2009 & Engeln, 2004).

## 9.2 Forschungsfragen und Hypothesen

Basierend auf dem Forschungsstand bisheriger Studien und da sich die Wahrnehmung der Schüler\*innen bezüglich des Interesses, der Motivation, des Fachwissens, der Selbsttätigkeit und des Experimentierens, gegenseitig beeinflussen

können, war es von Bedeutung, diese neben der Förderung der authentischen Wahrnehmung von Naturwissenschaften nicht außer Acht zu lassen und eine weitere Förderung dieser anzustreben.

Darauf basierend wurden die folgenden zwei Forschungsfragen untersucht:

- Inwiefern beeinflusst der Besuch im Schülerlabor *klick!* das Interesse, die Motivation, die Selbsttätigkeit, das Experimentieren und das Fachwissen der Schüler\*innen bezüglich Naturwissenschaften?

Bei der Überarbeitung des von Schwarzer entwickelten *klick!* Programms und den Versuchsstationen wurde gezielt darauf geachtet, dass das Experimentieren der Schüler\*innen weiterhin im Mittelpunkt des Schülerlaborbesuches steht. Hierbei sollten die Schüler\*innen möglichst selbstständig arbeiten, wodurch wiederum das Interesse und die Motivation der Schüler\*innen gefördert werden können. Darauf basierend wurde angenommen, dass die Erwartungen bezüglich des Interesses, der Motivation, der Selbsttätigkeit und des Experimentierens erfüllt, wenn nicht sogar weiter gefördert werden können. Durch die hohe Betreuungsrelation der Schüler\*innen an den Versuchsstationen und der Bearbeitung fachlicher Aufgaben wurde außerdem ein Anstieg des Fachwissens bei den Schüler\*innen erwartet.

- Welche Auswirkungen haben Videos mit integrierten Tätigkeitsaspekten von Forschenden zur Förderung der authentischen Wahrnehmung auf das Interesse, die Motivation, die Selbsttätigkeit, das Experimentieren und das Fachwissen der Schüler\*innen bezüglich Naturwissenschaften?

Der Schwerpunkt der Videos lag darin, die Wahrnehmung von Authentizität zu fördern. Da diese wiederum das Interesse und die Motivation an Naturwissenschaften fördern können, wurde eine kurzfristige Steigerung dieser Variablen erwartet. Die Vermittlung von Fachwissen, Experimentieren oder Selbsttätigkeit waren dagegen nicht Inhalt der Videos, weshalb diesbezüglich keine Förderung erwartet wurde. Im Gegenteil, da die Zeit für das selbstständige Experimentieren und das Bearbeiten fachlicher Aufgaben durch die Integration der Videos in das Laborprogramm gekürzt wurde, war eher mit einer Abnahme dieser Dimensionen zu rechnen.

### 9.3 Methode

Die Erwartungen und Bewertungen der Schüler\*innen bezüglich des *Interesses*, der *Motivation*, des *Fachwissens*, des *Experimentierens* und der *Selbsttätigkeit* wurden mittels eines Fragebogens vor (Prä-Test) und nach (Post-Test) dem Besuch im Schülerlabor erhoben. Hierfür wurden insgesamt  $N = 236$  Schüler\*innen der Sekundarstufe II befragt, wobei  $n = 117$  Schüler\*innen nur die Versuche durchführten (Kontrollgruppe) und  $n = 119$  Schüler\*innen zusätzlich die Videos zu sehen bekamen (Interventionsgruppe). Als Items der vier Dimensionen, *Motivation*, *Fachwissen*, *Experimentieren* und *Selbsttätigkeit*, dienten die von Schwarzer & Parchmann (2015) bereits vor Beginn der vorgestellten Promotionsstudie für die

Evaluation des *klick!-labors* verwendeten Items. Diese wurden ursprünglich von Schmidt et al. (2011) entwickelt. Die Items zur Messung des erwarteten und bewerteten *Interesses* an Naturwissenschaften wurden aus der Studie von Glowinski (2007) mit dem Schwerpunkt Molekularbiologie adaptiert.

In Tabelle 9.1 werden Beispielitems, die Anzahl an Items und die Reliabilität der fünf untersuchten Variablen dargestellt.

**Tab. 9.1** | Darstellung der Anzahl an Items, der Reliabilität und Beispielsitems zu den Erwartungen (Prä-Test) und Bewertungen (Post-Test) der Dimensionen *Interesse, Motivation, Fachwissen, Selbsttätigkeit* und *Experimentieren*.

Dimension	n Items	Beispielitems	Cronbachs $\alpha$
Interesse	4	<b>Prä: Von einem Besuch im Schülerlabor erwarte ich,</b> dass mein Interesse an naturwissenschaftlichen Themen gesteigert wird.	.81
		<b>Post: Im Schülerlabor</b> wurde mein Interesse an naturwissenschaftlichen Themen gesteigert.	.90
Motivation	4	..., dass ich motiviert werde, mich weiter mit naturwissenschaftlichen Themen zu beschäftigen.	.79
		... wurde ich motiviert, mich weiter mit naturwissenschaftlichen Themen zu beschäftigen.	.83
Fachwissen	4	..., dass ich mein naturwissenschaftliches Wissen erweitere.	.74
		... hat sich mein naturwissenschaftliches Wissen erweitert.	.68
Selbsttätigkeit	6	..., dass ich das selbstständige Experimentieren übe.	.83
		... habe ich das selbstständige Experimentieren geübt.	.81
Experimentieren	4	..., dass ich den Umgang mit Chemikalien und Laborgeräten übe.	.79
		... habe ich den Umgang mit Chemikalien und Laborgeräten geübt.	.71

## 9.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Teilstudie wurden mit dem Statistikprogramm SPSS mittels *t*-Tests und Varianzanalysen berechnet. Die Ergebnisse der untersuchten Variablen *Interesse*, *Motivation*, *Fachwissen*, *Experimentieren* und *Selbsttätigkeit* werden in Tab. 9.2 und Abb. 9.2 dargestellt. Allgemein wurden die Erwartungen der Variablen mit  $M = 2,6$  und  $M = 3,0$  relativ hoch eingeschätzt. Die Erwartungen des prä-Testes konnten im post-Test für alle Dimensionen erfüllt und für die Dimensionen *Experimentieren* und *Fachwissen* sogar mit kleinen bis mittleren Effekten von  $d = 0,39$  bis  $d = 0,53$  gesteigert werden. Die Erwartungen der Dimensionen *Motivation*, *Fachwissen*, *Experimentieren* und *Selbsttätigkeit* wurden bereits in der Vorstudie von Schwarzer & Parchmann (2015) hoch eingeschätzt, allerdings konnten diese nur für die Dimension *Experimentieren* erfüllt werden.

Bei den Ergebnissen dieser Studie konnten zwischen der Kontrollgruppe und der Gruppe, die die Videos zu sehen bekam, dagegen keine Effekte gemessen werden (im post-Test). Vor Beginn des Schülerlaborprogramms konnte zwischen den Prä-Tests der beiden Gruppen für die Dimension *Experimentieren* allerdings ein Unterschied mit einer kleinen Effektstärke von  $d = 0,32$  festgestellt werden. Bei den vier weiteren Dimensionen wurde dagegen kein Unterschied ermittelt.

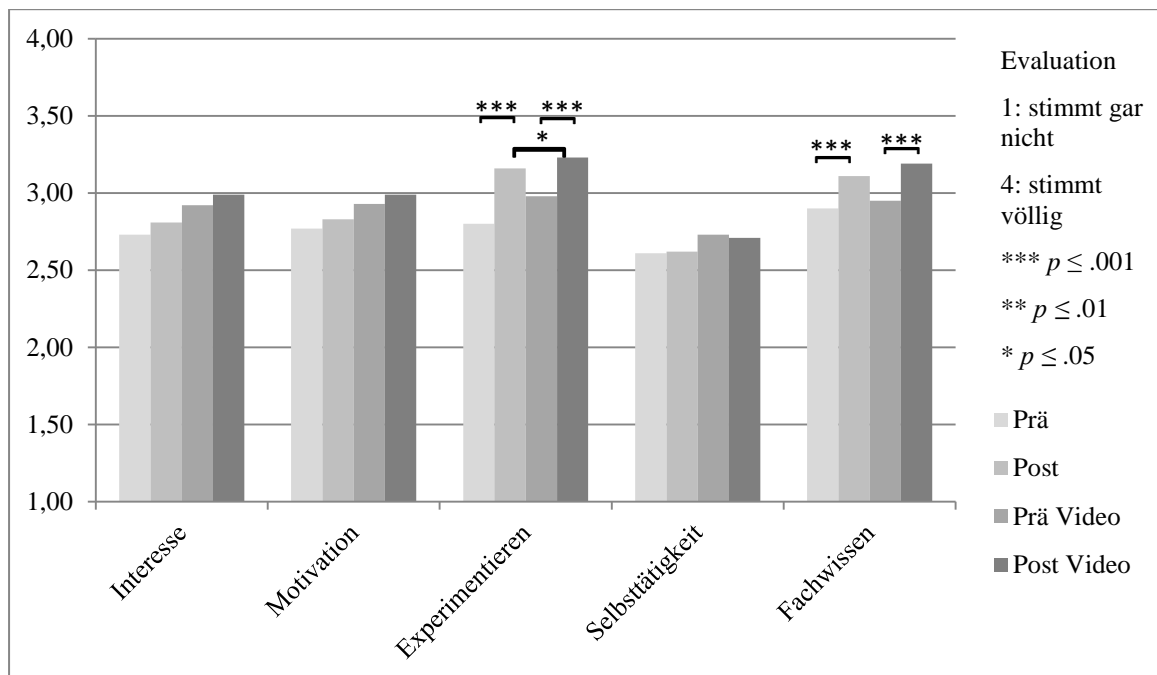
Die Varianzanalysen ergaben signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen für Dimensionen *Experimentieren*, *Motivation* und *Interesse*. Signifikante Zeiteffekte wurden für die Dimensionen *Experimentieren* und *Fachwissen* gefunden und ein signifikanter Interaktionseffekt wurde für die Dimension *Fachwissen* berechnet.

**Tab. 9.2** | Mittelwerte (*M*), Standardabweichungen (*SD*), Gruppen-, Zeit- und Interaktionseffekte (Signifikanzen (Sig.) und Effektstärken (*d*)) von den Erwartungen und Bewertungen bezüglich der Motivation, des Interesses, des Experimentierens, der Selbsttätigkeit und des Fachwissens vor (Prä-Test) und nach (Post-Test) einem Besuch im *klick!labor*. Es werden sowohl die Ergebnisse, der Schüler\*innen die nur die Versuche durchführten ( $n = 117$ ) als auch die Ergebnisse der Schüler\*innen die zusätzlich die Videos zu sehen bekamen ( $n = 119$ ), dargestellt.

Dimension	Prä/Post	Video	<i>M</i>	<i>SD</i>	Sig.	<i>d</i>
Interesse	Prä	-	2,73	.64	.191	-
	Post	-	2,81	.76		
	Prä	X	2,92	.70	.338	-
	Post	X	2,99	.76		
Interaktionseffekt		$F(1,231) < 17$				
Gruppeneffekt		$F(1,231) = 5.013, p = .026, \eta^2 = .021$				
Zeiteffekt		$F(1,231) = 2.576, p = .110$				

Motivation	Prä	-	2,77	.65	-	
	Post	-	2,83	.79		
	Prä	X	2,93	.68	-	
	Post	X	2,99	.69		
Interaktionseffekt		$F(1,231) < 1, p = .977$				
Gruppeneffekt		$F(1,231) = 4.056, p = .045, \eta^2 = .017$				
Zeiteffekt		$F(1,231) = 1.871, p = .173$				
Experimentieren	Prä	-	2,80	.66	< .001	0,58
	Post	-	3,16	.57		
	Prä	X	2,98	.61	< .001	0,44
	Post	X	3,23	.55		
Interaktionseffekt		$F(1,231) = 1.197, p = .275$				
Gruppeneffekt		$F(1,231) = 3.746, p = .054, \eta^2 = .016$				
Zeiteffekt		$F(1,231) = 48.461, p < .001, \eta^2 = .173$				
Selbsttätigkeit	Prä	-	2,61	.61	.885	-
	Post	-	2,62	.58		
	Prä	X	2,73	.62	.743	-
	Post	X	2,71	.63		
Interaktionseffekt		$F(1,234) < 1$				
Gruppeneffekt		$F(1,234) = 2.267, p = .133$				
Zeiteffekt		$F(1,234) < 1$				
Fachwissen	Prä	-	2,90	.58	< .001	0,39
	Post	-	3,11	.52		
	Prä	X	2,95	.62	< .001	0,42
	Post	X	3,19	.53		
Interaktionseffekt		$F(1,234) = 9.915, p = .002, \eta^2 = .041$				
Gruppeneffekt		$F(1,234) = < 1, p = .945$				
Zeiteffekt		$F(1,234) = 19.498, p < .001, \eta^2 = .077$				





**Abb. 9.2** | Ergebnisse bezüglich der Erwartungen und Bewertungen bezüglich des *Interesses*, der *Motivation*, des *Experimentierens*, der *Selbsttätigkeit* und des *Fachwissens* der Schüler\*innen vor (Prä) und nach (Post) dem Besuch im *klick!labor*. Die Schüler\*innen der Kontrollgruppe ( $n = 117$  Schüler\*innen) führten nur die Versuche im *klick!* durch und die Schüler\*innen der Interventionsgruppe ( $n = 119$  Schüler\*innen) bekamen zusätzlich Videos als Einblicke in den Forschungsalltag zu sehen.

## 9.5 Diskussion

Allgemein zeigen die Ergebnisse, dass die Erwartungen beider Schülergruppen (Kontrollgruppe und Interventionsgruppe) für alle fünf Dimensionen erfüllt werden konnten. Für die Dimensionen *Experimentieren* und *Fachwissen* konnten darüber hinaus signifikante Anstiege festgestellt werden.

Die Erwartungen bezüglich des *Experimentierens* stimmten bereits in der Studie von Schwarzer & Parchmann (2015) mit den Bewertungen nach dem Schülerlaborbesuch überein. Bei der darauf folgenden Überarbeitung des *klick!* Programmes wurde gezielt darauf geachtet, den experimentellen Anteil nicht zu verringern, sondern stattdessen durch das Ersetzen theoretischer durch praktische Aufgaben weiter zu fördern. Dies könnte eine Erklärung für den signifikanten Anstieg der Wahrnehmungen bezüglich des Experimentierens sein. Des Weiteren wurde ebenfalls darauf geachtet, dass die Schüler\*innen trotz der hohen Betreuungsrelation die Experimente und die begleitenden Aufgaben weitestgehend selbstständig bearbeiteten, wodurch durch die Förderung des Experimentierens auch die Erwartungen bezüglich der Selbsttätigkeit, im Gegensatz zu den Ergebnissen der

Vorstudie, erfüllt werden konnten. Da durch das selbstständige Experimentieren sowohl das Interesse an Naturwissenschaften als auch die Motivation an weiteren naturwissenschaftlichen Tätigkeiten gefördert wird, konnten ebenfalls die Erwartungen diesbezüglich erfüllt werden. Durch das motivierte Arbeiten in Kombination mit einer hohen Betreuungsrelation und zu den Experimenten begleitenden Aufgaben wird wiederum der Wissenszuwachs bzw. das Fachwissen gefördert. Damit liegt die Vermutung nahe, dass sich die untersuchten Variablen alle gegenseitig beeinflussen, wodurch in diesem Fall eine Förderung aller Dimensionen gelingen konnte. Diese Vermutung konnte durch die Berechnung der Korrelationen zwischen den Dimensionen, wie in Tab. 9.3 dargestellt wird, bestätigt werden. Ähnliche Korrelationen zwischen den Laborvariablen Authentizität, Experimentieren, Alltagskontext und der affektiven Variable Motivation wurden durch Schwarzer (2019) festgestellt.

**Tab. 9.3** | Korrelation nach Pearson zwischen den Dimensionen Motivation, Interesse, Experimentieren, Selbsttätigkeit und Fachwissen vor (Prä-Test) und nach (Post-Test) einem Besuch im *klick!*labor ( $n = 236$  Schüler\*innen).

		Interesse	Motivation	Experi- mentieren	Fachwissen	Selbst- konzept
Interesse	Prä	1	.78**	.48**	.60**	.50**
	Post	1	.82**	.46**	.63**	.56**
Motivation	Prä		1	.47**	.53**	.50**
	Post		1	.49**	.58**	.55**
Experi- mentieren	Prä			1	.45**	.73**
	Post			1	.56**	.59**
Fachwissen	Prä				1	.50**
	Post				1	.54**
Selbst- konzept	Prä					1
	Post					1

\*\* stehen für eine Signifikanz von  $p \leq 0,01$  (die Irrtumswahrscheinlichkeit ist kleiner als 1%)

Demzufolge konnten die Erwartungen bezüglich der ersten Forschungsfrage (Inwiefern beeinflusst der Besuch im Schülerlabor *klick!* das Interesse, die Motivation, die Selbsttätigkeit, das Experimentieren und das Fachwissen der Schüler\*innen?) erfüllt werden.

Bezogen auf die zweite Forschungsfrage, welche Wirkung Videos aus der Forschung als authentische Einblicke in den Forschungsalltag auf die untersuchten Variablen haben, konnten keine zusätzlich fördernden Effekte zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe gemessen werden. Die Erwartungen der Schüler\*innen konnten allerdings genauso wie bei der Kontrollgruppe erfüllt werden und es fand keine Abnahme durch die Integration der Videos ins Laborprogramm statt.

Durch die Videos sollten allerdings auch nicht primär die fünf genannten Variablen, sondern hauptsächlich ein authentisches Bild von der naturwissenschaftlichen Forschung vermittelt und die authentische Wahrnehmung der Schüler\*innen gefördert werden. Die beiden Ziele konnten wie in Kapitel 7 dargestellt erfüllt werden. Allerdings wurde erwartet, dass durch die geförderte authentische Wahrnehmung, wie durch die Studien von Pawek (2009) und Engeln (2004) vermutet werden könnte, auch das Interesse zumindest kurzfristig gesteigert werden kann. Wie die Ergebnisse zeigen, war dieses nicht der Fall. Dies könnte zum einen daran liegen, dass das Interesse mit  $M = 2,9$  und  $M = 3,0$  insgesamt bereits recht hoch eingeschätzt wurde, und zum anderen daran, dass das Interesse durch den Einsatz der Videos nicht stärker gefördert werden konnte, als es durch die Experimente bereits der Fall war.

Bezüglich des *Experimentierens*, der *Selbsttätigkeit* und des *Fachwissens* wurde dagegen keine weitere Förderung, sondern eher mit einer Abnahme gerechnet, da die Vermittlung dieser drei Variablen nicht Inhalt der Videos ist und die Zeit für das selbstständige Experimentieren und das Bearbeiten fachlicher Aufgaben durch die Integration der Videos verkürzt wurde. Wie dargestellt, fand jedoch keine Abnahme der Variablen, *Experimentieren*, *Selbsttätigkeit* und *Fachwissen* statt. Eine Erklärung hierfür ist, dass die Kontrollgruppe (ohne Videos) in der zusätzlichen Zeit hauptsächlich Zusatzaufgaben bearbeitete, in denen weder vermehrt selbstständig experimentiert noch zusätzliches Fachwissen hinzugewonnen wurde. Die Zusatzaufgaben dienten stattdessen hauptsächlich zur Wiederholung und Vertiefung des Programminhalts.

Limitierend muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass sich die Antworten der beiden Gruppen im Prä-Test, bezogen auf das erwartete Experimentieren, signifikant mit einem kleinen Effekt von  $d = 0,32$  unterscheiden. Aufgrund dessen sollten ein Vergleich der Ergebnisse dieser Dimension zwischen den beiden Gruppen vorsichtig betrachtet werden.

## 9.6 Fazit und Ausblick

Die Erwartungen der Schüler\*innen an das Laborprogramm konnten durchaus erfüllt und bezüglich der Dimensionen *Experimentieren* und *Fachwissen* sogar (zumindest) kurzfristig gesteigert werden. Die Überarbeitung des Programmes hatte somit, im Vergleich zu vorherigen Untersuchungen im *klick!labor* (Schwarzer & Parchmann, 2015), positive Effekte auf die untersuchten Variablen.

Durch die integrierten Videos wurden die Variablen zwar nicht weiter gefördert, aber die Erwartungen konnten weiterhin erfüllt werden und es fand keine Abnahme statt.

Darauf basierend kann festgestellt werden, dass es durchaus möglich ist, die Bewertungen der Schüler\*innen gezielt zu beeinflussen und durch eine Optimierung der Laborprogramme weiter zu fördern.

Trotz der bisherigen Bemühungen sollten die untersuchten Variablen im bestehenden *klick!labor* auch zukünftig weiterhin durch neue Aufgaben, Experimente und moderne Geräte gefördert werden. Hierbei sollten die an dieser Stelle nicht erwähnten Ziele von Schülerlaboren, wie beispielsweise die Förderung von Dialogen und Diskussionen über aktuelle wissenschaftliche Themen (Braund & Reiss, 2006), nicht außer Acht gelassen, sondern stattdessen ebenfalls in den Optimierungen berücksichtigt werden.

Außerdem sollte, durch umfangreiche Follow-up-Studien, untersucht werden, ob durch solche Bemühungen auch längerfristig positive Erfolge erzielen können.

# Kapitel 10

---

## Diskussion, Fazit und Ausblick

### 10.1 Zusammenfassende Diskussion, Limitationen und Implikationen

#### *10.1.1 Zusammenfassende Diskussion & Limitationen*

Wie einleitend in Kapitel 1 beschrieben wird, bestehen Unterschiede zwischen den stereotypischen Vorstellungen der Schüler\*innen über die naturwissenschaftliche Forschung (Solomon et al., 1994; Höttecke, 2004; Tintori & Palomba, 2017, Höttecke & Hopf, 2018) und den Beschreibungen der Naturwissenschaften durch die Konstrukte NOS und NOSI (McComas & Olson, 1998; Osborne et al., 2003; Lederman, 2006; Schwarz et al., 2008 (S. 3); Neumann & Kremer, 2013). Auffallend sind hierbei vor allem die fehlenden kreativen, sozialen und unternehmerischen Aspekte in den Vorstellungen der Schüler\*innen. Grund hierfür sind die überwiegend stereotypischen Darstellungen von Naturwissenschaftler\*innen und deren Arbeit in den Medien wie Comics und Spielfilmen. Bei genauem Nachfragen gaben die Schüler\*innen zwar an zu wissen, dass die Stereotypen nicht der Realität entsprechen, aber sie konnten nicht angeben, wie ein authentisches Bild von Naturwissenschaften aussieht (Höttecke, 2004). Darüber hinaus ist die authentische Vermittlung von Naturwissenschaften eines der Ziele von außerschulischen Lernorten, zu denen auch Schülerlabore zählen (Braund & Reiss, 2006). Da die Erwartungen der besuchenden Schüler\*innen bezüglich der Authentizität im Schülerlabor *klick!* vor Beginn dieser Studie allerdings nicht erfüllt werden konnten, war es zum einen das Ziel, die wahrgenommene Authentizität im Schülerlabor *klick!* zu fördern. Zum anderen sollte die Lücke zwischen den stereotypischen Vorstellungen der Schüler\*innen und dem tatsächlichen Arbeitsalltag von Forschenden geschlossen werden. Um beide Ziele erreichen zu können, wurden in Zusammenarbeit mit Forschenden der SFB 677 authentische Videos über deren Arbeitsalltag entwickelt und anschließend in die Versuchsstationen des Schülerlaborprogramms *klick!* integriert, erprobt und deren Wirkung gemessen.

Zu Beginn der Studie wurde der von Wentorf et al. (2015) entwickelte RIASEC+N-Fragebogen adaptiert. Anschließend wurden sowohl Schüler\*innen als auch Forschende mittels des Fragebogens befragt (Kapitel 5, 7 & Anhang). Da zur Validierung des Fragebogens eine Kreuzvalidierung mangels vergleichbarer Testinstrumente nicht möglich war, wurde der Fragebogen stattdessen zweimal mit unterschiedlichen Stichproben eingesetzt (Vorstudie:  $n = 244$  Schüler\*innen (Kapitel 5); Hauptstudie:  $n = 119$  Schüler\*innen (Kapitel 7) und die Ergebnisse miteinander verglichen. Durch die resultierenden Ergebnisse der Befragung konnten die Unterschiede zwischen den Vorstellungen bezüglich der sieben RIASEC+N-Arbeitsbereiche ermittelt werden. Wie erwartet konnte hierdurch gezeigt werden, dass die kreativen (A), sozialen (S) und unternehmerischen (E) Tätigkeiten im Gegensatz zu den investigativen (I) und den Labortätigkeiten (R & C) von den Schüler\*innen als am wenigsten typisch für naturwissenschaftlich Forschende eingeschätzt wurden. Die Antworten der Nachwuchswissenschaftler\*innen wichen geringfügig von den gemessenen Vorstellungen der Schüler\*innen ab. Es wurden nur die kreativen und investigativen Tätigkeiten von den Schüler\*innen signifikant unterschätzt. Im Gegensatz dazu wiesen die Antworten der befragten Professor\*innen ein gegensätzliches Bild auf. Diese schätzten die typischen Labortätigkeiten der Dimensionen *Realistic* und *Conventional* als am wenigsten relevant und die kreativen, sozialen und unternehmerischen Tätigkeiten dagegen als für sie am relevantesten ein. Die unterschiedlichen Einschätzungen der Nachwuchswissenschaftler\*innen und Professor\*innen können damit erklärt werden, dass der typische Arbeitsalltag beider Gruppen voneinander abweicht. Die typischen Tätigkeitsbereiche der Professor\*innen beinhalten vor allem das Planen und Leiten von Projekten, die Betreuung von Studierenden und das Einwerben von Forschungsgeldern. Die Arbeit im Labor wird daher überwiegend von den Nachwuchswissenschaftler\*innen durchgeführt. Demzufolge weichen auch die Schülervorstellungen stark von den Vorstellungen der Professor\*innen ab. Die daraus resultierende Frage, ob die Vorstellungen der Schüler\*innen den Einschätzungen der Professor\*innen oder den der Nachwuchswissenschaftler\*innen angenähert werden sollten, kann nicht direkt beantwortet werden, da die Arbeit beider Gruppen für die Forschung relevant ist. Daher kann allen sieben RIASEC+N Tätigkeitsbereichen eine große Bedeutung zugesprochen werden, und es besteht vor allem für die von den Schüler\*innen unterschätzten kreativen, sozialen, investigativen und unternehmerischen Aspekte Förderbedarf.

An dieser Stelle ist allerdings limitierend zu erwähnen, dass nicht garantiert werden kann, dass durch den RIASEC+N-Fragebogen und die darauf basierenden Videos alle relevanten Tätigkeiten der naturwissenschaftlich Forschenden erfasst wurden. Außerdem ist die Stichprobengröße der befragten Professor\*innen sehr gering ausgefallen, und bei den Antworten der Naturwissenschaftler\*innen handelt es sich lediglich um die Selbstwahrnehmungen bezüglich deren Arbeitsalltag. Das bedeutet, dass diese nicht zwingend der Realität entsprechen müssen.

Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen konnten anschließend authentische Videos über den Arbeitsalltag von Forschenden entwickelt und in die Versuchsstationen im *klick!* eingebettet werden. Hierfür wurden die Tätigkeiten des RIASC+N-Fragebogens explizit in die Videos integriert. Zur Überprüfung, ob die Schüler\*innen die Tätigkeiten wie gewünscht wahrnehmen, wurden eine Think-Aloud- und eine Interviewstudie durchgeführt. Es konnte festgestellt werden, dass alle Tätigkeitsbereiche von den Schüler\*innen registriert werden.

Zur Messung der Wirksamkeit der Videos wurden Schüler\*innen in einem Kontrollgruppen-Design sowohl vor als auch im Anschluss an den Schülerlaborbesuch befragt (Kapitel 7). Hierfür wurde ein Fragebogen eingesetzt, welcher die bereits zuvor verwendeten RIASEC+N-Dimensionen und zusätzlich Dimensionen zur Messung der Erwartungen und Bewertungen der wahrgenommenen Authentizität, des Experimentierens, der Selbsttätigkeit, des Fachwissens, des Interesses und der Motivation beinhaltet. Die Ergebnisse der Prä- und Post-Tests zeigen, dass die Videos positive Effekte bezüglich aller RIASEC+N Dimensionen (mit Ausnahme der Dimension *Enterprising*) bewirken konnten. Von den Schüler\*innen der Kontrollgruppe wurden die weniger stereotypischen Tätigkeiten nach dem Schülerlabortag dagegen signifikant niedriger eingeschätzt. Der Grund hierfür ist vermutlich, dass die Schüler\*innen bei den Versuchsstationen hauptsächlich die eher stereotypischen Labortätigkeiten der Dimensionen *Realistic* und *Conventional* durchführten. In den Videos werden dagegen alle Dimensionen dargestellt, wodurch Einblicke in alle sieben Tätigkeitsbereiche gefördert wurden.

Da neben den RIASEC+N Tätigkeitsbereichen der Forschenden auch die wahrgenommene Authentizität der Schüler\*innen sowohl durch die Videos als auch durch die Versuchsstationen signifikant gesteigert werden konnte, wurden die beiden angestrebten Ziele der Intervention erreicht.

Bei den zusätzlich erhobenen Dimensionen (Experimentieren, Fachwissen, Motivation, Interesse und Selbsttätigkeit) konnten durch die Videos dagegen keine, durch die Versuchsstationen dagegen signifikante Anstiege für die Dimensionen Experimentieren und Fachwissen bewirkt werden. Die zuvor in einer anderen vergleichbaren Studie gemessenen signifikanten Abnahmen (Schwarzer, 2015) konnten sowohl für die Interventions- als auch für die Kontrollgruppe nicht mehr festgestellt werden. Dieses könnte damit begründet werden, dass neben der Entwicklung der Videos auch die Experimentierstationen überarbeitet oder neu entwickelt wurden.

Da viele Schüler\*innen aus organisatorischen Gründen nicht an der Follow-up-Studie teilnehmen konnten, war die Stichprobengröße zu klein, um eindeutige Aussagen bezüglich einer Langzeitwirkung treffen zu können. Die Ergebnisse deuten allerdings darauf hin, dass die wahrgenommene Authentizität durch die Videos längerfristig gefördert werden kann.

### 10.1.2 Theoretische und praktische Implikationen

Im Rahmen der vorgestellten Studie konnte die Vielfalt der Tätigkeitsbereiche naturwissenschaftlich Forschender, welche auch durch die Konstrukte NOSI und NOS (Schwarz et al., 2008; Lederman, 2006) beschrieben werden, mit Hilfe einer quantitativen Befragung von Forschenden mittels des in Kapitel 7 beschriebenen RIASEC+N-Fragebogens bestätigt werden. Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass tatsächlich alle sieben Tätigkeitsbereiche für die Darstellung naturwissenschaftlicher Forschung, z.B. im Rahmen von Schülerlaborbesuchen, von Bedeutung sind und bei weitem nicht nur jene, welche durch Stereotype in den Medien verbreitet werden.

Durch den Vergleich der Antworten der Forschenden bezüglich deren Arbeitsalltag mit den Antworten der Schüler\*innen konnten zudem auch die stereotypischen Sichtweisen der Schüler\*innen, welche unter anderem durch Solomon (1996) beschrieben wurden, erneut bestätigt werden. Ergänzend konnten mit Hilfe des RIASEC+N-Modells quantitativ herauskristallisiert werden, bezüglich welcher Tätigkeitsbereiche Förderbedarf besteht. Dieses trifft vor allem auf die Tätigkeiten der Dimensionen *Artistic* und *Social* und zu, welche von den Schüler\*innen als von niedrigster Bedeutung für die naturwissenschaftliche Forschung eingeschätzt wurden. Diese Erkenntnisse bestätigen einerseits nochmals die theoretische und praktische Bedeutung des von Dierks et al. (2016) und Wentorf et al. (2015) für die Naturwissenschaften adaptierten und weiterentwickelten RIASEC+N-Modells, bieten darüber hinaus aber auch eine bedeutende Grundlage für die Entwicklung zukünftiger Fördermaßnahmen.

Eine solche Fördermaßnahme für die Vermittlung der vielfältigen Arbeitsbereiche naturwissenschaftlich Forschender stellen die im Rahmen dieser Studie entwickelten Videos mit den explizit integrierten RIASEC+N-Tätigkeiten naturwissenschaftlich Forschender dar. Tatsächlich konnten durch die Videos vor allem die Tätigkeitsbereiche *Artistic* und *Social* gefördert und somit den stereotypischen Vorstellungen im Rahmen dieser Studie entgegengewirkt werden.

Wie in Kapitel 1 einleitend beschrieben wird, ist es nicht nur für naturwissenschaftlich Interessierte, sondern auch für die breite Öffentlichkeit von Bedeutung zu erfahren, wie die Naturwissenschaftler\*innen arbeiten. Wenn in den Medien beispielsweise von den aktuellen Umweltproblemen und neuen Erkenntnissen diesbezüglich berichtet wird, dann sollte jede(r) einschätzen können, wieviel wissenschaftliche Arbeit hinter der Erkenntnisgewinnung steckt und dass eine schnelle Lösung, wenn auch erwünscht, in den meisten Fällen nicht möglich ist.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Die Langwierigkeit der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung wird beispielsweise im ersten und vierten Video dieser Studie dargestellt, in denen gezeigt wird, dass innerhalb von mehreren Monaten einige Wiederholungen der Versuche notwendig sind, um erwünschte Ergebnisse zu erzielen.



Dieses grundlegende Wissen über die Arbeitsweisen der Forschenden ist neben einem bestimmten Maße an fachlichen Kenntnissen (beispielsweise bezüglich der Risiken von Nanopartikeln im Grundwasser) von Bedeutung, um alltägliche Entscheidungen treffen oder an Diskussionen teilnehmen zu können.

Zudem konnte gezeigt werden, dass ein Einblick in die Vielfalt der naturwissenschaftlichen Forschung von großer Bedeutung ist, da die stereotypischen Vorstellungen bei den Schüler\*innen, welche keinen solchen Einblick erhielten, verstärkt wurden. Damit ist in diesem Fall gemeint, dass vor allem die im Prä-Test bereits unterschätzten kreativen, aber auch die unternehmerischen Aspekte, von den Schüler\*innen ohne Videoeinblicke nach dem Besuch im Schülerlabor als noch weniger relevant eingeschätzt wurden. Die stereotypischen Aktivitäten der Dimensionen *Realistic* und *Conventional*, wie das Messen und Auswerten von Daten, blieben dagegen konstant beziehungsweise stiegen signifikant an.

Durch die ausschließliche Darstellung dieser typischen Labortätigkeiten wird allerdings ein unvollständiges Bild der naturwissenschaftlichen Forschung vermittelt, wodurch nur eine kleine Gruppe der gesamtdeutschen Schülerschaft angesprochen wird. Durch die Videoeinblicke in die Vielfalt der Tätigkeiten im Bereich der naturwissenschaftlichen Forschung besteht dagegen die Möglichkeit, dass weitere Schüler\*innen angesprochen werden, wodurch wiederum zu einem positiven Image der Naturwissenschaften beigetragen werden kann.

Auch wenn ein authentisches Bild über die naturwissenschaftliche Forschung für jeden Bürger / jede Bürgerin förderlich sein mag, trifft dieses für naturwissenschaftlich interessierte Schüler\*innen besonders zu, vor allem, um bezüglich der Kurs- oder auch Studienwahl für sie wichtige und passende Entscheidungen treffen zu können.

Nach Pea (1994) wäre der persönliche Kontakt zu Forschenden eine Maßnahme, um die Naturwissenschaften möglichst authentisch zu vermitteln. Allerdings ist die Umsetzung des regelmäßigen Kontaktes von Forschenden zu Schüler\*innen, vor allem der Kontakt zu Professor\*innen, aus zeitlichen Gründen oftmals nicht umsetzbar. Die Vorteile der Videos sind daher, dass die Zeit der Forschenden nur einmalig, für die Produktion der Videos, in Anspruch genommen wird und auch nur einmalige Kosten entstehen. Anschließend können die Videos allorts, wie beispielsweise in Schulen, und so oft wie erwünscht eingesetzt werden.

Da in den Videos speziell die Forschung des SFB 677 dargestellt wird, konnten die Videos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit eingesetzt werden, um die Arbeit des SFB 677 nach außen zu tragen. Demzufolge konnte ohne weiteren Aufwand seitens der Forschenden Öffentlichkeitsarbeit durchgeführt werden, wobei die Arbeit des SFB 677 dennoch authentisch transportiert wurde.

Mit Hilfe der in Kapitel 6 im Detail beschriebenen Entwicklung, Pilotierung und Validierung der Videos können die Videos außerdem stetig optimiert werden oder

aber auch als Grundlage beziehungsweise Beispiel für die Produktion weiterer Videos dienen.

Bei der Videoproduktion wurden nicht nur die typischen Arbeitsweisen der Forschenden, sondern auch weitere naturwissenschaftliche Aspekte wie die personenbezogenen Merkmale der Forschenden authentisch ausgewählt. Beispielsweise wurde auf ein realistisches Geschlechterverhältnis und ethnische Diversität der Forschenden geachtet. Aufgrund dessen können die Videos zukünftig nicht nur an unterschiedlichen Orten flexibel eingesetzt werden, sondern die Videos bieten zudem ein großes Potential für weitere empirische Studien beispielsweise bezüglich der Wahrnehmung der naturwissenschaftlichen Akteure, welche in den Videos zu sehen sind.

Außerdem wird durch die in der Studie neu entwickelte Versuchsstation „Computersimulationen“ (Kapitel 2, 3 & Anhang), bei der die Schüler\*innen Moleküle am Computer simulieren können, ein derzeit noch überwiegend unbekanntes Teilgebiet der Chemie, die theoretische Chemie, abgedeckt. Durch die Bekanntmachung dieses Gebietes besteht das Potenzial, dass vor allem bei an Informatik interessierten Schüler\*innen neue Berufsperspektiven entstehen.

## **10.2 Fazit der Arbeit**

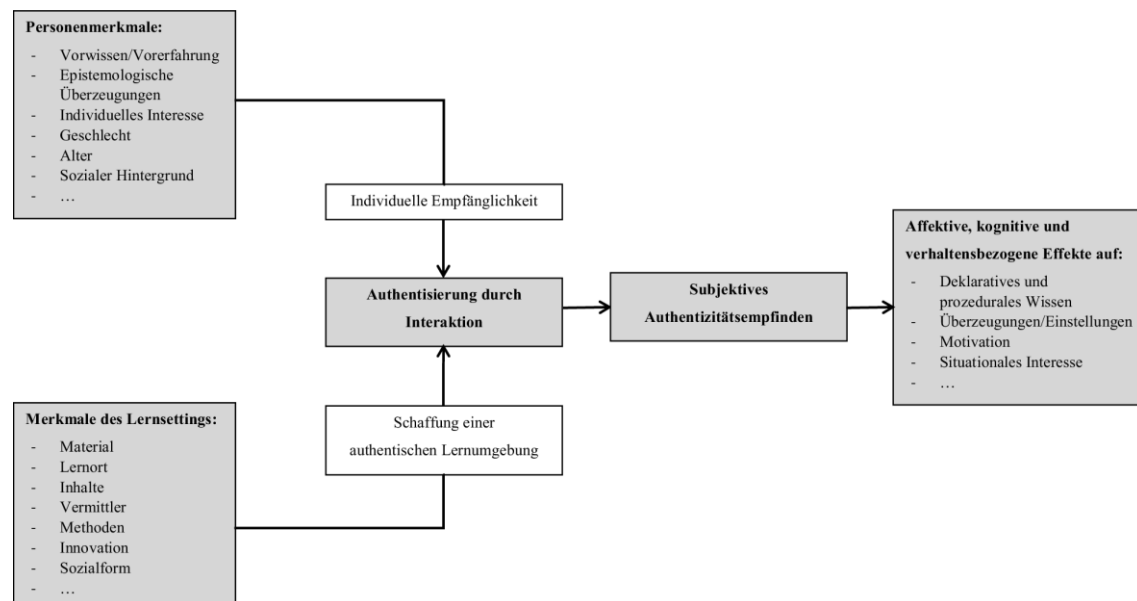
In Kapitel 1.2 bis 1.4 wird beschrieben, wie bedeutend eine authentische Vermittlung und die daraus resultierende authentische Wahrnehmung von Naturwissenschaften für Lernende ist. Allerdings wird in Kapitel 1.3.3 auch angeführt, dass durch ein klassisches Schülerlaborprogramm, welches nicht speziell darauf abzielt die Naturwissenschaften authentisch zu vermitteln, die authentische Wahrnehmung der Schüler\*innen nicht gefördert beziehungsweise deren Erwartungen nicht unbedingt erfüllt werden (Abb. 1.6). Im Gegensatz dazu kann durch die hier vorgestellte Promotionsstudie gezeigt werden, dass eine gezielte Überarbeitung des Programmes (s. Kapitel 2.1) eine Förderung der authentischen Wahrnehmung von Naturwissenschaften bewirken kann. In diesem Fall konnten die Erwartungen der Schüler\*innen nicht nur erfüllt, sondern sogar signifikant gesteigert werden. Zusätzlich konnte die wahrgenommene Authentizität durch speziell entwickelte Videos aus der Forschung mit integrierten Tätigkeitsaspekten noch weiter gefördert werden. Da der Inhalt der Videos stark an den Inhalt der Versuche angelehnt ist, liegt die Vermutung nahe, dass durch den indirekten Kontakt zu den Forschenden, welcher durch die Videos hergestellt und von Pea (1994) empfohlen wird, das gesamte Programm als authentischer wahrgenommen wird.

Folglich wurde durch die Überarbeitung des Programmes eine authentische Lernumgebung geschaffen, durch welche das subjektive Authentizitätsempfinden gefördert werden konnte (Kapitel 7, Abb. 7.4).

Eine authentische Lernumgebung kann wiederum Effekte auf weitere Variablen, wie beispielsweise die Wahrnehmung bezüglich des Experimentierens, der

Selbsttätigkeit, des Fachwissens, der Motivation und des Interesses, Einfluss nehmen. Wie in Kapitel 9 beschrieben wird fielen die Bewertungen vor der Überarbeitung der Lernumgebung signifikant niedriger aus als die zuvor eingeschätzten Erwartungen an das Schülerlaborprogramm. Nach der Überarbeitung des Programmes konnten die Erwartungen dagegen erfüllt oder sogar signifikant gesteigert werden.

Diese beschriebenen Zusammenhänge zwischen einer authentischen Lernumgebung, des dadurch geförderten Authentizitätsempfindens und den Einfluss auf weitere affektive, kognitive und verhaltensbezogene Variablen werden übereinstimmend durch das Modell der Authentizität der Wissenschaftsvermittlung nach Betz et al. (2016) in Abb. 10.1 beschrieben.<sup>13</sup>



**Abb. 10.1** | Modell der Authentizität der Wissenschaftsvermittlung nach Betz et al. (2016). Übersetzung aus dem Englischen erfolgte durch Sommer, Wirth & Rummel (2018).

In dem Modell nach Betz et al. (2016) wird außerdem der Einfluss von personenbezogenen Merkmalen auf die Lernumgebung aufgezeigt. Die Lernumgebung wird von den unterschiedlichen Schüler\*innen individuell empfunden, wodurch die wahrgenommene Authentizität abhängig vom Geschlecht, Alter, individuellem Interesse und weiteren Merkmalen gemessen werden kann. Da im Rahmen dieser Dissertation hinsichtlich dieser personenbezogenen Variablen keine oder nur geringe Effekte gemessen werden konnten (Thiele, 2018), wird auf die entsprechenden Ergebnisse nicht weiter eingegangen.

<sup>13</sup> Auch wenn die Studie von Betz (2018) im linguistischen und nicht im naturwissenschaftlichen Bereich durchgeführt wurde, lässt sich das von Betz entwickelte Modell der Authentizität der Wissenschaftsvermittlung auf die naturwissenschaftliche Wissenschaftsvermittlung und somit auf die vorgestellte Studie übertragen.

Neben der authentischen Wahrnehmung von Naturwissenschaften konnte durch die Videos zusätzlich ein authentischeres Bild von den Tätigkeitsbereichen von Forschenden vermittelt werden. Dieses wird in Abb. 7.3 dargestellt, wobei die weniger stereotypischen Arbeitsbereiche im Prä-Test zunächst von den Schüler\*innen unterschätzt und nach der Intervention signifikant gesteigert werden konnten.

Als Fazit kann also genannt werden, dass ein Programm, welches speziell auf eine authentische Wissenschaftsvermittlung abzielt, diese auch bewirken vermag.

### 10.3 Ausblick

Aufgrund der positiven Wirkung bezüglich der Wahrnehmung von Authentizität und der Vermittlung eines authentischen Forschungsalltags bieten die im Rahmen der vorgestellten Studie entwickelten Videos großes Potential für anschließende Studien und für deren weiteren Einsatz.

Bei der Entwicklung der Videos wurde auf einen möglichst hohen Grad der Authentizität geachtet, weshalb die Videos unterschiedliche authentische Aspekte beinhalten. Das bedeutet, dass nicht nur authentische wissenschaftliche Tätigkeiten in die Videos integriert wurden, sondern auch die Akteure, die Drehorte, die Ausstattung und die fachlichen Inhalte authentisch waren, d.h. es handelte sich um „echte“, weibliche und männliche naturwissenschaftlich Forschende unterschiedlicher Herkunft, welche an ihrem tatsächlichen Arbeitsplatz an ihren aktuellen naturwissenschaftlichen Forschungsfragen arbeiteten. Zudem werden auch wissenschaftliche Prozesse und Abläufe, das heißt von der Entwicklung einer Idee bis zur Veröffentlichung der Ergebnisse, dargestellt. Aufgrund dessen wäre es von Interesse, sowohl die Wahrnehmung der Schüler\*innen bezogen auf die Akteure als auch auf weitere NOS- und NOSI-Aspekte zu untersuchen.

Da die Stichprobengröße der Schüler\*innen in der Follow-up Erhebung sehr gering ausgefallen ist, konnten bisher keine Aussagen über die tatsächlichen Langzeiteffekte der Videos getroffen werden. Deshalb wäre es sinnvoll diese mit einer größeren Stichprobe erneut zu untersuchen. Um mögliche Langzeiteffekte zu fördern, könnten diesbezüglich zusätzlich Reflexionsaufgaben eingesetzt werden, in denen der Inhalt der Videos abgefragt wird.

Bisher wurden die Erwartungen und Bewertungen im Kontrollgruppendesign untersucht. Hierbei führte die eine Hälfte der Schüler\*innen nur die Versuche im *klick!* Labor durch (Kontrollgruppe), während sich die andere Hälfte der Schüler\*innen zusätzlich die Videos anschaute (Interventionsgruppe). Darauf bezogen wäre es zukünftig interessant zu untersuchen, wie die reine Wirkung der Videos ohne Versuche ausfällt. Beispielweise könnten die Videos stattdessen in einen theoretischen Kontext eingebaut werden, um festzustellen, ob diese beispielsweise auch im Fachunterricht ohne begleitende Versuche eingebaut werden können.

Da durch die Videos der Beruf naturwissenschaftlich Forschender authentisch dargestellt wird, wäre somit außerdem eine Nutzung zur Berufsorientierung nicht nur in Schülerlaboren, sondern auch in Schulen, Arbeitsagenturen oder Ähnlichem, denkbar und nützlich.

Zudem wurde die Studie bisher nur mit Schüler\*innen aus Schleswig-Holstein und Niedersachsen durchgeführt. Diesbezüglich wäre es interessant zu untersuchen, ob die Videos auf Schüler\*innen in anderen Bundesländern eine ähnliche Wirkung erzielen und die getroffenen Aussagen somit verallgemeinert werden können.

Die Verbreitung der Videos ist, wie bei anderen digitalen Medien auch, durch die Nutzung von online Plattformen wie der sich zurzeit am IPN in Entwicklung befindlichen OER-Plattform für Lehrkräfte, möglich. Dieses könnte zukünftig mit entsprechend angefertigten Anleitungen zur Nutzung der Videos und gegebenenfalls auch mit den zugehörigen Versuchsanleitungen umgesetzt werden.

Außerdem können die Videos nicht nur ortsunabhängig verwendet werden, sondern darüber hinaus können diese, mit Hilfe der Beschreibung der Videoentwicklung in Kapitel 6, als Grundlage für die Entwicklung weiterer authentischer Videos genutzt werden. Da die Videos im Rahmen der vorliegenden Arbeit bezüglich der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung entwickelt wurden, wäre es ergänzend sinnvoll, Videos über die Arbeit der Naturwissenschaftler\*innen anzufertigen, welche in der Industrie beziehungsweise in Großunternehmen arbeiten. Außerdem wären Videos beispielsweise als Einblicke in andere naturwissenschaftliche Themengebiete nützlich, welche dann gleichzeitig auch als Öffentlichkeitsarbeit für die Forschenden genutzt werden oder aber auch als Einblicke in weitere Berufe zur Berufsorientierung dienen könnten.

Neben dem herkömmlichen Videoformat wäre es außerdem möglich, durch die inzwischen bezahlbaren Virtual Reality (VR)-Brillen, immersive 360° Videos für möglicherweise noch authentischere Einblicke in die Forschung zu entwickeln. Hierbei könnten sich die Schüler\*innen durch die VR-Brillen in einem virtuellen Raum neben die Forschenden stellen und denen beim Arbeiten zuschauen.

Auch wenn die Versuchsstationen des *klick!* Programms bereits als sehr authentisch wahrgenommen werden, können auch diese sicherlich weiter optimiert werden. Beispielsweise könnten die in den Videos integrierten Tätigkeiten und die typischen naturwissenschaftlichen Prozesse in die Versuchsstationen integriert werden. Auf diese Weise könnten die Schüler\*innen zunächst in den Videos sehen, wie in der naturwissenschaftlichen Forschung gearbeitet wird, und anschließend nicht nur Versuche mit denselben Themengebieten, sondern auch tatsächlich exakt dieselben Tätigkeiten durchführen. Denn bisher wurden durch die Versuchsstationen fast ausschließlich Tätigkeiten der Dimensionen *Realistic*, *Investigative* und *Conventional* durchgeführt. Anschließend wäre es interessant zu untersuchen, ob hierdurch die sinkenden Effekte der Kontrollgruppe bezüglich der nicht in den Stationen berücksichtigten Tätigkeitsfelder (Abb. 7.3) abgeschwächt oder sogar ins Gegenteil

umgekehrt werden können. Auf diese Weise wäre es gegebenenfalls möglich, nicht nur durch die Videos, sondern auch durch die Versuchsstationen ein vielfältiges Bild der naturwissenschaftlichen Forschung zu vermitteln.

Außerdem sollten die in dieser Studie nicht explizit geförderten Ziele von Schülerlaboren, wie beispielsweise die Förderung von Dialogen und Diskussionen über aktuelle wissenschaftliche Themen (Braund & Reiss, 2006), nicht außer Acht gelassen, sondern stattdessen ebenfalls gefördert werden.

Des Weiteren könnte die authentische Wahrnehmung weiter gefördert werden, indem, wie von Edelson (1999) empfohlen und in Kapitel 1.3.2 (Punkt 5) beschrieben, das Lösen von „Real-World“-Problemen durch die Versuchsstationen abgedeckt wird. Bisher wird durch die Stationen zwar ein Bezug zum Alltag hergestellt, aber es werden durch die Stationen keine speziellen alltäglichen Probleme gelöst.

Auch wenn die naturwissenschaftlich Forschenden durch Ihre Arbeit nicht regelmäßig Zeit haben, persönlich mit Schüler\*innen über deren Arbeit zu sprechen, wäre es dennoch von großem Interesse zu untersuchen, inwiefern der persönliche Kontakt, im Vergleich zu den Videos, Einfluss auf das Wissenschaftsverständnis und die authentische Wahrnehmung hat.

Außerdem sollte nicht vergessen werden, dass neben den authentischen Videos zudem auch eine neue Versuchsstation (Anhang) entwickelt wurde. Bei der Durchführung dieser Station können die Schüler\*innen Moleküle am Computer simulieren. Da es bisher kaum Versuche für Schüler\*innen aus dem Bereich der theoretischen Chemie gibt, wäre es bedeutend, den Versuch empirisch zu untersuchen. Beispielsweise könnte untersucht werden, inwiefern den Schüler\*innen die theoretische Chemie bekannt ist und ob das was sie im Rahmen des Kennenlernen des Versuchs ihren Erwartungen entspricht.

Wie bereits erwähnt, ist die authentische Vermittlung von Naturwissenschaften eines der Hauptziele von Schülerlaboren. Daher wäre es von großer Bedeutung zu untersuchen, ob der Lernort Schülerlabor ausschlaggebend für die gemessenen Effekte ist, oder ob dieselbe Wirkung auch an anderen Lernorten erreicht werden kann. Im Rahmen einer Studie von Betz (2018) wurde die authentische Wahrnehmung an unterschiedlichen Lernorten bereits untersucht, wobei positive Effekte für außerschulische Lernorte gefunden werden konnten. Allerdings fand diese Studie im Bereich Germanistik, ohne den Einsatz von „Hands-on“-Versuchen und digitalen Medien statt.

Ebenso wurden die Lernorte Schule und Schülerlabor in der Studie von Budke (2019) miteinander verglichen. In dieser Studie wurde allerdings kein Kontakt von den Schüler\*innen zu den Wissenschaftler\*innen durch Videoeindrücke in die Forschung geben. Außerdem wurde die wahrgenommene Authentizität an den Lernorten nicht untersucht und das Bild von der Wissenschaft konnte an beiden Orten nicht verbessert werden.

Um die Wirkung der Lernorte Schülerlabor und Schule miteinander vergleichen zu können, sollte das Laborprogramm *klick!* genauso, wie es im Schülerlabor durchgeführt wird, in die Schule übertragen werden. Das bedeutet, dass nicht nur die Videos, sondern auch die Versuche, Geräte und die betreuenden Personen übereinstimmen sollten. Darauf basierend könnte anschließend der Regelunterricht in den Schulen gegebenenfalls entsprechend optimiert werden.

Aufgrund der großen Praxisrelevanz, der theoretischen Relevanz für die Schülerlaborforschung und für die Berufsorientierung im MINT-Bereich, ist die Durchführung einer solchen Studie (Vergleich der Wirkung der Lernorte Schülerlabor und Schule) bereits für das kommende Jahr geplant.





## Literaturverzeichnis

- Abdelaziz, R., D., Hedayati, M. K., Pöhls, J. H., Zillohu, A. U., Erkartal, B., Chakravadhanula, V. S. K., Duppel, V., Kienle, L. & Elbahri, M. (2013). Green chemistry and nanofabrication in a levitated Leidenfrost drop *Nature Communications*, 4 DOI: 10.1038/ncomms3400
- Affeldt, F., Weitz, K., Siol, A., Markic, S. & Eilks, I. (2015). A Non-Formal Student Laboratory as a Place for Innovation in Education for Sustainability for All Students. *Education Sciences* 5, 238–254. DOI:10.3390/educsci5030238
- Aikenhead, G. (1987). High school graduates' beliefs about sciencetechnologysociety. 3: Characteristics and limitations of science knowledge. *Science Education*, 71 (4), 459-87.
- Anker-Hansen, J. & Andree, M. (2019). In Pursuit of Authenticity in Science Education. *Nordic Studies in Science Education* 15, 498-510.
- Archer, L., DeWitt, J., and Wong, B. (2014). Spheres of influence: what shapes young people's aspirations at age 12/13 and what are the implications for education policy? *Journal of Education Policy* 29 (1), 58-85. DOI: 10.1080/02680939.2013.790079
- Armstrong, P. I., Day, S. X., McVay, J. P. & Rounds, J. (2008). Holland's RIASEC model as an integrative framework for individual differences. *Journal of Counseling Psychology* 55 (1), 1–18.
- Tausch, M. W. & Banerji, A. (2010). Funktionelle Farbstoffe. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 59 (8), 6-10.
- Barman, C. R. (1999). Students' Views About Scientists and School Science: Engaging K-8 Teachers in a National Study. *Journal of Science Teacher Education* 10 (1), 43-54.
- Barron, B. J. S., Schwartz, D. L., Vye, N. J., Moore, A., Petrosino, A., Zech, L., Bransford, J. D. & The Cognition And Technology Group At Vanderbilt (1998). Doing with understanding: lessons from research on problem- and project-based learning. *Journal of the Learning Sciences*, 7 (3/4), 271–311.
- Berman, H.M. et al. (2000). The Protein Data Bank. In: *Nucleic Acids Res.* Bd. 28, 235–242.
- Bethke, C., Adelung, R. & Schwarzer, S. (2017). Generierung einer mikro- und nanostrukturierten Kupferoberfläche mit Lotos-Effekt – Ein Versuch für die Sekundarstufen I und II. *CHEMKON* 24 (1), 31-38.
- Betz, A. (2018). Der Einfluss der Lernumgebung auf die (wahrgenommene) Authentizität der linguistischen Wissenschaftsvermittlung und das Situationale Interesse von Lernenden. *Unterrichtswissenschaft* 46 (2).
- Betz, A., Flake, S., Mierwald, M. & Vanderbeke, M. (2016). Modelling authenticity in teaching and learning contexts: a contribution to theory development and empirical investigation of the construct. In C. K. Looi, J. Polman, U. Cress & P. Reimann (Hrsg.), *Transforming learning, empowering learners: the International Conference of the Learning Sciences (ICLS) 2016*, 2, 815–818. Singapur: International Society of the Learning Sciences.

- Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M. & Palincsar, A. (1991). Motivating project-based learning: sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist* 26 (3/4), 369–398.
- Braund, M. & Reiss, M. (2006). “Towards a More Authentic Science Curriculum: The Contribution of Out-of-School Learning.” *International Journal of Science Education* 28 (12), 1373-1388. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690500498419>
- Brandt, A. (2005). *Förderung von Motivation und Interesse durch außerschulische Experimentierlabors*. Dissertation, Universität Bielefeld. Göttingen: Cuvillier Verlag.
- Brandt, A., Möller, J. & Kohse-Hönigshaus, K. (2008). Was bewirken außerschulische Experimentierlabors? Ein Kontrollgruppenexperiment mit Follow up-Erhebung zu Effekten auf Selbstkonzept und Interesse. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 22, 5-12. <https://doi.org/10.1024/1010-0652.22.1.5>.
- Brechner, E., Dinkelaker, B., Dreesmann, D. (2001). *Kompaktlexikon der Biologie – Escherischia coli*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/escherischia-coli/3858> (letzter Zugriff 04.12.2017).
- Brinkworth, R., McCann, B., Matthews, C. & Nordström K. (2008). First year expectations and experiences: student and teacher perspectives, *Springer High Educ.* DOI 10.1007/s10734-008-9188-3
- Brown, J. S., Collins, A. and Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher* 18 (1), 32-42.
- Budke, M. (2019). *Entwicklung und Evaluation des Projektes GreenLab\_OS: Empirische Studie zu Effekten von stationären und mobile Schülerlaborangeboten*. Dissertation, Universität Osnabrück.
- "Business Week Company Profile: Schrödinger". Retrieved 28 August 2013.
- Cohen, J. D., Jones, M. W. & Smith, S. (2017). "Preservice and Early Career Teachers' Preconceptions and Misconceptions About Making in Education" *Journal of Digital Learning in Teacher Education* 34 (1), 31-42. DOI: 10.1080/21532974.2017.1387832
- Coll, R. K. & Paku, L. (2011). "The influence of experiential learning on Indigenous New Zealanders' attitude towards science." In: *Attitude research in science education: Classic and contemporary measurements*, edited by I. M. Saleh and M. S. Khine, 219–238. Charlotte: IAP.
- Connolly, M. L. (1983). Analytical Molecular Surface Calculation. *J. Appl. Cryst.* 16, 548–558.
- Cheryan, S., Master, A. & Meltzoff, A. N. (2015). Cultural stereotypes as gatekeepers: increasing girls' interest on computer science and engineering by diversifying stereotypes. *Frontiers in Psychology* 6 (49), 1-8.
- Chinn, C. A. & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic reasoning in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86, 175–218.

- Christodoulou, A. & Osborne, J. (2014). The Science Classroom as a Site of Epistemic Talk: A Case Study of a Teacher's Attempts to Teach Science Based on Argument, *Journal of Research in Science Teaching* 51(10), 1275–1300.
- Curtis, D. E., Lonie, D. C., Vandermeersch, T., Zurek E. & Hutchison, G. R. (2012). Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform Marcus D Hanwell, *Journal of Cheminformatics* 4 (1), 17.
- David, M. (2018). *Untersuchung der Nachhaltigkeit der Schülervorstellungen über die Tätigkeiten von Forschenden*. Masterarbeit, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Damerau, K. (2012). *Molekulare und Zell-Biologie im Schülerlabor – Fachliche Optimierung und Evaluation der Wirksamkeit im BeLL Bio (Bergisches Lehr-Lern-Labor Biologie)*. Dissertation, Bergische Universität Wuppertal.
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (2008). DFG: 40 Jahre Sonderforschungsbereiche. RAABE Fachverlag für Wissenschaftsinformation, Berlin.
- Deutsche Forschungsgemeinschaft Jahresbericht (2018). Deutsche Forschungsgemeinschaft: Jahresbericht 2018 – Aufgaben und Ergebnisse. Redaktion: T. Köster, Bonn.
- Dierks, P. O., Höffler, T. & Parchmann, I. (2014). Profiling interest of students in science: Learning in school and beyond. *Research in Science & Technological Education*, 32 (2), 97–114. doi:10.1080./02635143.2014.895712
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*. Open University Press. Buckingham. Philadelphia
- Escherich, T. (1885). Die Darmbakterien des Neugeborenen und Säuglings. *Fortschr. Med.* 547–554.
- Edelson, D. C. (1998). “Realizing authentic science learning through the adaptation of scientific practice.” In International Handbook of Science Education, edited by B. J. Fraser and K. G. Tobin, 317–331. Dordrecht: Kluwer.
- Edelson, D. C., Gordin, D. N. & Pea, R. D. (1999). Addressing the challenges of inquiry-based learning through technology and curriculum design. *Journal of the Learning Sciences*. 8 (3/4): 391–450.
- Euler, M. (2005). Schülerinnen und Schüler als Forscher: Informelles Lernen im Schülerlabor. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik* 16 (90), 4-12.
- Engeln, K. & Euler, M. (2004). Forschen statt Pauken. Aktives Lernen im Schülerlabor. *Physik Journal*, 3 (11), 45-48.
- Engeln, K. (2004). Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken. In H. Niedderer, & H. Fischler (Hrsg.), Studien zum Physikkernen, Berlin: Logos Verlag. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

- Flaig, M., Simonsmeier, B. A., Mayer, A.-K., Rosman, R., Gorges, J. & Schneider, M. (2018). Conceptual change and knowledge integration as learning processes in higher education: A latent transition analysis. Elsevier 62, 49-61.
- Garrett, T. R., Bhakoo, M. & Zhang, Z. (2008). Bacterial adhesion and biofilms on surfaces. Prog. Nat. Sci. 18, 1049–1056.
- Glowinski, I. (2007). *Schülerlabore im Themenbereich Molekularbiologie als Interesse fördernde Lernumgebungen*. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. [http://eldiss.unikiel.de/macau/receive/dissertation\\_diss\\_2564](http://eldiss.unikiel.de/macau/receive/dissertation_diss_2564). Kiel.
- Glowinski, I. & Bayrhuber, H. 2011. Student labs on a university campus as a type of out-of-school learning environment: Assessing the potential to promote students' interest in science. *International Journal of Environmental & Science Education* 6 (4), 371-392.
- Godin, B. & Gingras, Y., 2000. "What is scientific and technological culture and how is it measured? A multidimensional model." *Public Understanding of Science* 9: 43-58.
- Goldman, S. R., Petrosino, A., Sherwood R. D., Garrison, S., Hicken, D. T., Bransford, J. D., & Pellegrino, J. W. (1994). Multimedia Environments for Enhancing Science Instruction. In: Technology-Based Learning Environments, edited by Vosniadou S., De Corte E., Mandl H., 137, 89-96. NATO ASI Series (Series F: Computer and Systems Sciences). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Goldman, S. R., Petrosino, A. J., Sherwood, R. D., Garrison, S., Hickey, D., Bransford, J. D. & Pellegrino, J. W. (1996). Anchoring science instruction in multimedia learning environments. In S. Voniadou, E. DeCorte, R. Glaser and H. Handl (eds.), *Interactional perspectives on the design of technology-supported learning environments* (Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates), 257-284.
- Guderian, P. (2007). *Wirksamkeitsanalyse außerschulischer Lernorte. Der Einfluss mehrmaliger Besuche eines Schülerlabors auf die Entwicklung des Interesses an Physik*. Dissertation: Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät I Humboldt-Universität zu Berlin.
- Guderian, P., Priemer, B. & Schön, L. H. (2006). Die Entwicklung des aktuellen Interesses an Physik von Grundschulern bei mehrfachen Besuchen in einem Schülerlabor. In *Didaktik der Physik, Frühjahrstagung Kassel*.
- Hannover, B. & Kessels, U. (2002). Challenge the science-stereotype. Der Einfluss von Technik-Freizeitkursen auf das Naturwissenschaften-Stereotyp von Schülerinnen und Schülern. *Zeitschrift für Pädagogik*, 45, 341-358.
- Haupt, O., Domjahn, J., Martin, U., Skiebe-Corrette, P., Vorst, S., Zehren, W. & Hempelmann, R. (2013). Schülerlabor – Begriffsschärfung und Kategorisierung. In: MNU 66 (6), 324 – 330.
- Haupt, O. (2015). In Zahlen und Fakten - Der Stand der Bewegung! In: LernortLabor (Hrsg.): Schülerlabor-Atlas 2015 - Schülerlabore im deutschsprachigen Raum. Klett MINT, 2015, 34-53. ISBN 978-3-942406-22-2

- Hempelmann, R. & Haupt, O. J. (2014). The German Schülerlabor – Definition and Categories. Submitted.
- Henson, D. (2012). Television Archaeology: Education or Entertainment? *History in British Education*. University of London – Institute of Historical Research.
- Herraez, A. (2006). Biomolecules in the computer: Jmol to the rescue. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 34 (4), 255-261.
- Heß, G. (2018). Kategorisierung der Schülerlabore. In LernortLabor – Bundesverband der Schülerlabore e. V. (Hrsg.), *LeLa Magazin: Neues aus dem Bundesverband*, 21, 13-14.
- Holland, J. L. (1959). A theory of vocational choice. *Journal of Counseling Psychology*, 6, 35-45.
- Holland, J. L. (1963). Explorations of a theory of vocational choice and achievement: II. A four-year prediction study. *Psychological Reports* 12, 547-594.
- Holland, J. L. (1997). *Making vocational choices: A theory of vocational personalities and work environments*. 3rd ed. Edessa, FL: Psychological Assessment Resources.
- Hollander M. A. & Parker H. J. (1972). Occupational Stereotypes and Self-Descriptions: Their Relationship to Vocational Choice. *Journal of Vocational Behavior* 2, 57-65.
- Höttecke, D. (2004). Schülervorstellungen über die “Natur der Naturwissenschaften”. In C. Höble, D. Höttecke & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften*, 264-277. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Höttecke, D. & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht*, 271-287. Springer-Verlag GmbH Deutschland.
- Huwer, J. (2015). *Nachhaltigkeit und Chemie im Schülerlabor: Forschendes Experimentieren im Kontext einer naturwissenschaftlich-technischen Umweltbildung*. Dissertation, Universität des Saarlandes.
- Itzek-Greulich, H. (2015). *Einbindung des Lernorts Schülerlabor in den naturwissenschaftlichen Unterricht : empirische Untersuchung zu kognitiven und motivationalen Wirkungen eines naturwissenschaftlichen Lehr-Lernarrangements* . Dissertation, Eberhard Karls Universität Tübingen.
- Jung, W. (1997). Aufsätze zur Didaktik der Physik und Wissenschaftstheorie. Frankfurt: Diesterweg.
- Kang, H., Thompson, J. & Windschitl, M. (2014). Creating opportunities for students to show what they know: The role of scaffolding in assessment tasks. *Science Education*, 98 (4), 674-704. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sce.21123/full>
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Re-konstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (3), 3–18.

- Kessels, U. & Hannover, B. (2006). What goes well with physics? Measuring and altering the image of science. *British Journal of Educational Psychology*, 76(4), 761-780.
- Kircher, E. (1995). Studien zur Physikdidaktik - Erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Grundlagen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 2, 89-90. Kiel: IPN.
- Kircher, E. & Dittmer, A. (2004). Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften - ein Überblick. In C. Hößle, D. Höttecke & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften*, 2-22. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Kloser, M. (2013). Exploring high school biology students' engagement with more and less epistemologically considerate texts. *Journal of Research in Science Teaching*, 50 (10), 1232-1257. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tea.21109/full>
- Köhler, W., Eggers, H.J., Fleischner, B., Marre, R., Pfister, H. & Pulverer, G. (2001). *Medizinische Mikrobiologie* 8. Aufl., 345, 34-36. Urban & Fischer-Verlag München.
- Krajcik, J., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M. & Fredricks, J. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7 (34), 313-350.
- Kraif, U. (1997). Duden 05. Das Fremdwörterbuch: Unentbehrlich für das Verstehen und den Gebrauch fremder Wörter: Band 5. Dudenverlag, Mannheim 2001.
- Kuhn, W. (1991). Die wissenschaftstheoretische Dimension des Physikunterrichts. In H. Wiesner (Hrsg.), *Aufsätze zur Didaktik der Physik II. Phys. Did. Sonderausgabe*, Franzbecker, 125-144.
- Laherto, A., Tirre, F., Kampschulte, L., Parchmann, I. & Schwarzer, S. (2018). Scientists' perceptions on the Nature of Nanoscience and its public communication. *Problems of Education in the 21.st Century*, 76 (1), 2538-7111.
- Leutner, D. (1993). Guided discovery learning with computer-based Simulation games: Effects of adaptive and non-adaptive instructional support. *Learning and Instruction* 3, 113-132.
- Lederman, N. G. (2006). Syntax of nature of science within inquiry and science instruction. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning and teacher education*, 301-317. Dordrecht: Springer.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of Science: Past, present, and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education*, 831-879. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Lee, H. S. & Butler Songer, N. (2003). Making authentic science accessible to students. *International Journal of Science Education*, 25(8), 923-948.
- Levkovich, O. & Yarden, A. (2017). High school students use Jmol for learning about protein structure and function. Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel. ESERA 2017 Conference; Dublin, Ireland.

- Lindhorst, Th. K. & Hartmann M. (2009). Glycobiologie - Bakterielle Adhäsion an der Wirtszell-Glycocalyx. *Labor & More* 1, 40–41.
- Lindhorst, Th. K. (2007). Essentials of Carbohydrate Chemistry and Biochemistry. 3. Aufl. WILEY-VCH.
- Lindner, M. & Hursie, L. (2018). Langzeitwirkungen von Science Camps (MINT-Sommer-Camps) . In C. Maurer (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe, *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik*, 232-234, Jahrestagung in Kiel 2014, Universität Regensburg.
- Linn, M. C. & Muilenburg L. (1996). Creating Lifelong Science Learners: What Models Form a Firm Foundation? *Educational Researcher*, 25(5), 18-24.
- Macdonald, I. (2000) What do we mean by transition, and what is the problem? *Australasian Journal of Engineering Education*, 9, 7–20.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods for instruction. *American Psychologist* **59**, 14-19.
- Mayring, P. 2008. "Qualitative Content Analysis." [In German: Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken.] 10<sup>th</sup> ed. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- McComas, W. F. & Olson, J. K. (1998). The nature of science in international science education standard documents. In W. F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education: Rationales and strategies* (41–52). Dordrecht: Kluwer.
- Milne, C. (1998). Philosophically correct science stories? Examining the implication of heroic science stories for school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 175-187.
- Ministerium für Schule und Berufsbildung des Landes Schleswig-Holstein (2016). Fachanforderungen Chemie- Allgemein bildende Schulen Sekundarstufe I – Gymnasium Sekundarstufe II: [www.schleswig-holstein.de](http://www.schleswig-holstein.de).
- Mierwald, M., Lehmann, T. & Brauch, N. (2018). Zur Veränderung epistemologischer Überzeugungen im Schülerlabor: Authentizität von Lernmaterial als Chance der Entwicklung einer wissenschaftlich angemessenen Überzeugungshaltung im Fach Geschichte? *Unterrichtswissenschaft* 46(3), 279-297. doi:10.1007/s42010-018-0019-7
- Mokhonko, S., Nickolaus, R. & Windaus, A. (2014). Förderung von Mädchen in den Naturwissenschaften: Schülerlabore und ihre Effekte. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZfDN)* 20 (1), 143 – 159. DOI 10.1007/s40573-014-0016-2 (Springer)
- Nachtigall, V., Rummel, N. & Serova, K. (2018). Authentisch ist nicht gleich authentisch – Wie Schülerinnen und Schüler die Authentizität von Lernaktivitäten im Schülerlabor einschätzen. Erscheint in diesem Thementeil der *Unterrichtswissenschaft*.
- Nashan, M., Freienberg, J. & Wittstock, G. (2007). Farbe auf Knopfdruck. *CHEMKON* 14 (4), 189–191.

- Nashon, S. M. & Anderson, D. (2013). Interpreting student views of learning experiences in a contextualized science discourse in Kenya. *Journal of Research in Science Teaching*, 50 (4), 381-407. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tea.21078/full>
- Neumann, I. (2011). Beyond Physics Content Knowledge. Modeling Competence Regarding Nature of Scientific Inquiry and Nature of Scientific Knowledge. *Studien zum Physik- und Chemielernen* 117.
- Neumann, I. & Kremer, K. (2013). Nature of Science and Epistemological Beliefs – Similarities and Differences. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 19, 209-232.
- Nickolaus, R., Mokhonko, S. & Windaus, A. (2012). Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung des Förderprogramms „Schülerinnen forschen –Einblicke in Naturwissenschaft und Technik“. Abschlussbericht. (Unveröffentlichtes Manuskript), Universität Stuttgart.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. & Duschl, R. (2003). What “Ideas about Science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching* 40 (7), 692–720.
- Pawek, C. (2009). Schülerlabore als interessefördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe. Dissertation: IPN Kiel.
- Pea, R. D. (1994). Seeing what we build together: distributed multimedia learning environments for transformative communications. *Journal of the Learning Sciences* 3 (3), 285–299.
- Pithers, B. & Holland, T. (2006). Student Expectations and the Effect of Experience. Australian Association for Research in Education Conference, Adelaide, Australia.
- Plasa, T. (2013). *Die Wahrnehmung von Schülerlaboren und Schülerforschungszentren*. Dissertation, Universität Kassel. Berlin: Logos.
- Pönicke, H. (2017). *Wahrnehmung von wissenschaftlichen Tätigkeiten in Videos*. Masterarbeit, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Popli, R. (1999). Scientific literacy for all citizens: different concepts and contents. *Public Understanding of Science* 8, 123-137.
- Posner, G. J., Strike, K., A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education* 66 (2), 211-227.
- Pustowka, P. X. & Bader, H. J. (2007). Kombinatorische Chemie oder: Wie kann man den Aufwand bei der Suche nach neuen Wirkstoffen verringern? *CHEMKON* 14 (4), 176-184.
- Rodenhauser, A. (2016). *Bilinguale biologische Schülerlaborkurse – Konzeption und Durchführung sowie Evaluation der kognitiven und affektiven Wirksamkeit*. Dissertation. Bergische Universität Wuppertal.



- Scharfenberg, F.-J. (2005). Experimenteller Biologieunterricht zu Aspekten der Gentechnik im Lernort Labor: empirische Untersuchung zu Akzeptanz, Wissenserwerb und Interesse. Universität Bayreuth.
- Schmidt, I., Di Fuccia, D. & Ralle, B. (2011). Außerschulische Lernorte - Erwartungen, Erfahrungen und Wirkungen aus der Sicht von Lehrkräften und Schulleitungen. *Mathematisch Naturwissenschaftlicher Unterricht* 64 (6): 362-369.
- Schonborn, K. J. & Anderson, T. R. (2010). Bridging the educational research-teaching practice gap. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 38 (5), 347-354.
- Schrödinger, LLC, New York, NY, 2016.
- Schrödinger Release: Maestro, version 10.6., Schrödinger, LLC, New York, NY, 2016.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G. & Lederman, J. S. (2008). An Instrument to Assess Views Of Scientific Inquiry: The VOSI Questionnaire. Paper presented at Annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Baltimore, MD.
- Schwarzer, S., Akaygun S., Sagun-Gokoz, B., Anderson, S. & Blonder, R. (2015). Using Atomic Force Microscopy in Out-of-School Settings -Two Case Studies Investigating the Knowledge and Understanding of High School Students. *Journal of Nano Education*, 7 (1), 10-27.
- Schwarzer, S. & Parchmann, I. (2015). Erwartungen von Schülern und Wissenschaftlern an Schülerlaborbesuche. In S. Bernholt (Hrsg.), Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik*, 232- 234, Jahrestagung in Bremen 2014. Kiel: IPN.
- Schwarzer, S. & Parchmann, I. (2018). Kapitel 17.1 Schülerlabore und Schülerforschungszentren. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher, & P. Pfeifer (Eds.), *Unterricht Chemie. Konkrete Fachdidaktik Chemie: Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht* (Erste Ausgabe., S. 666–677). Seelze: Aulis.
- Schwarzer, S. & Itzek-Greulich, H. (2015). Möglichkeiten und Wirkungen von Schülerlaboren. *Naturwissenschaften im Unterricht* 147, 8-13.
- Schwarzer, S., Rudnik, J. & Parchmann, I. (2013). Chemische Schalter als potenzielle Lernschalter - Fachdidaktische Begleitung eines Sonderforschungsbereichs. *CHEMKON*, 20 (4), 175-181.
- Schwarzer, S. (2019). Gestaltungsprinzip der Alltagsnähe in Schülerlaboren. In: K. Sommer, J. Wirth, M. Vanderbeke (Hrsg.): *Handbuch Forschen im Schülerlabor – Theoretische Grundlagen, empirische Forschungsmethoden und aktuelle Anwendungsgebiete*. Münster: Waxmann-Verlag.
- Schwarzer, S., Abdelaziz, R., Elbahri, M. & Wilke, T. (2016). Wenn ein Wassertropfen zum Nanolabor wird. *CHEMKON*, 23 (4), 188-190.

- Setterlund, M. B., & Niedenthal, P. M. (1993). "Who am I? Why am I here?" Self-esteem, self-clarity, and prototype matching. *Journal of personality and social psychology* 65 (4), 769.
- Sgouros, S.N. & Bergele C. (2006). Clinical outcome of patients with *Helicobacter pylori* infection: the bug, the host, or the environment? *Postgrad. Med. J.* 82, 338–342.
- Sharkawy, A. (2012). Exploring the potential of using stories about diverse scientists and reflective activities to enrich primary students' images of scientists and scientific work. *Cult Stud of Sci Educ*, 7, 307–340. DOI 10.1007/s11422-012-9386-2
- Solomon, J., Scott, L. & Duveen, J. (1994). Pupils' images of scientific epistemology. *International Journal of Science Education*, 16 (3), 361-373.
- Solomon, J., Scott, L. & Duveen, J. (1996). Large-scale exploration of pupils' understanding of the nature of science. *Science Education* 80 (5), 493-508.
- Sommer, K., Wirth, J. & Rummel, N. (2018). Authentizität der Wissenschaftsvermittlung im Schülerlabor – Einführung in den Thementeil. *Unterrichtswissenschaft* 46 (3), 253-260. <https://doi.org/10.1007/s42010-018-0022-z>
- Songer, N. B. (1998). Can technology bring students closer to science? In B. J. Fraser and K. G. Tobin (eds), *International Handbook of Science Education* (Dordrecht: Kluwer), 333–348.
- Stamer, I., Beiroth, F., Schwarzer, S., Hartke, B., Lindhorst, T. K., Parchmann, I. (2018). Blick in die Zukunft: Computersimulationen ergänzen die Heranführung von Schülerinnen und Schülern an naturwissenschaftliche Arbeitsweisen. *CHEMKON - Chemie konkret*, 25 (7), 285-292. DOI: 10.1002/ckon.201800001
- Stamer, I., Parchman, I. & Schwarzer, S. (2017). Authentisches Lernen im Schülerlabor. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*, *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik* 37, 528-538.
- Stamer, I., Pönicke, H., Laherto, A., Tirre, F., Höffler, T. N., Schwarzer, S. & Parchmann, I. (2019a). Development & validation of scientific video vignettes to promote perception of authentic science in student laboratories. *Research in Science & Technological Education* 1470-1138. <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1600491>
- Stamer, I., David, M., Höffler, T. N., Schwarzer, S. & Parchmann, I. (2019b). Authentic insights into science: Scientific videos in out-of-school learning environments. Unpublished manuscript, Leibniz Institute for Science and Mathematics Education at the University of Kiel. Manuscript submitted for publication
- Stark, R., Graf, M., Renkl, A., Gmber, H. & Mandl, H. (1995). Förderung von Handlungskompetenz durch geleitetes Problemlösen und multiple Lernkontexte. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie* 27 (4), 289-312.
- Streller, M. (2015). *The educational effects of pre- and post-work in out-of-school laboratories*. Dissertation, Technische Universität Dresden.

- Stroebe, W./Hewstone, M./Stephenson, G.M. (1996). Einstellungen II: Strategien der Einstellungsänderung In W. Stroebe, M. Hewstone, J.-P. Codol, G.M Stephenson (Hrsg.), *Sozialpsychologie. Eine Einführung*. 171-205. Berlin: Springer.
- Swaak, J., de Jong, T. (2001a). Learner vs. system control in using online support for simulation-based discovery learning. *Learning Environments Research* 4 ,217-241.
- Tajfel, H. (1974). Social identity and intergroup behaviour. *Social Science Information*13(2) 65-93. DOI: <https://doi.org/10.1177/053901847401300204>
- Thiele, M. (2018). *Statistischer Vergleich der Vorstellung von Schülerinnen und Schülern über die naturwissenschaftliche Forschung mit der Wahrnehmung von Forschenden bezüglich ihrer eigenen Arbeit*. Masterarbeit, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Thomas G. P., and Durant, J. R. (1987). Why should we promote the public understanding of science? In M. Shortland (ed) *Scientific Literacy Papers*. Rewley House. Oxford. 1-14.
- Tintori, A. & Palomba, R. (2017). The most common stereotypes about science and scientists: what scholars know. In A. Tintori & R. Palomba (Hrsg.), *Turn on the light on science*. London: Ubiquity Press. DOI: <https://doi.org/10.5334/bba.b>
- Tirre, F. (2015). *Research-based development of out-of-school learning environments*. Dissertation, Leibniz Institute for Science and Mathematics Education at the University of Kiel.
- Uhlmann, S. & Priemer, B. (2010). Das Experiment in Schule und Wissenschaft ein „Nature of Science“-Aspekt explizit in einem Projekt im Schülerlabor. Frühjahrstagung – Hannover 2010.
- Ulriksen, L., Madsen, L.M. & Holmegaard, H.T. (2010). What do we know about explanations for drop out/opt out among young people from STM higher education programmes? *Studies in Science Education* 46 (2), 209–244. doi: 10.1080/03057267.2010.504549
- Urhahne, D. & Harms, U. (2006). Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen, *Unterrichtswissenschaft* 34 (4), 358-377.
- Urhahne, D., Kremer, K. & Mayer, J. (2008). Welches Verständnis haben Jugendliche von der Natur der Naturwissenschaften? Entwicklung und erste Schritte zur Validierung eines Fragebogens. *Unterrichtswissenschaft* 36, 72 - 94.
- Weber, Th., Chandrasekaran, V., Stamer, I., Thygesen, M. B., Terfort, A. & Lindhorst, Th. K. (2014). Switching of bacterial adhesion to a glycosylated surface by reversible reorientation of the carbohydrate ligand. *Angew. Chem. Int. Ed.* 53, 14583-14586 (Cover).
- Wegner, C. (2009). *Entwicklung und Evaluation des Projektes "Kolumbus-Kids" zur Förderung begabter SchülerInnen in den Naturwissenschaften*. Dissertation, Universität Bielefeld.
- Wendt, J. L. & Rockinson-Szapkiw, A. (2014). The effect of online collaboration on middle school student science misconceptions as an aspect of science literacy. *Journal of*

*Research in Science Teaching*, 51 (9), 1103-1118.  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tea.21169/full>

- Werner, M. & Kremer, K. (2010). "Ein Experiment ist das, was der Lehrer macht." – Schülervorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik* 9, 135-150.
- Wentorf, W., Höffler, T. N. & Parchmann, I. (2015). Schülerkonzepte über das Tätigkeitsspektrum von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern: Vorstellungen, korrespondierende Interessen und Selbstwirksamkeitserwartungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21, 207-222.
- Wentorf, W. (2016). What do students think about scientists and their professions? In S. Simon, C. Ottander and I. Parchmann (eds.), *Narratives of Doctoral Studies in Science Education: Making the transition from educational practitioner to researcher*, 95-105. Routledge, London & New York.
- Weßnigk, S. (2013). *Kooperatives Arbeiten an industrienahen außerschulischen Lernorten*. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Woods-McConney, A., Oliver, M. C., McConney, A., Schibeci, R. & Maor, D. (2013). Science Engagement and Literacy: A Retrospective Analysis for Indigenous and Non-Indigenous Students in Aotearoa New Zealand and Australia. *Research in Science Education* 43 (1), 233–252.
- Zehren, W. (2009). *Forschendes Experimentieren im Schülerlabor*. Dissertation, Universität des Saarlandes.
- Zohar, A. & Levy, S. T. (2015). ELI-Chem: Learning through interacting with atoms. SLDL (Systems Learning and Development Lab), University of Haifa.

## Abkürzungsverzeichnis

AFM	Atomic Force Microscope
CAU	Christian-Albrechts-Universität
CRC	Collaborative Research Center
Desy	Deutsches Elektronen-Synchrotron
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
IPN	Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik
J. Sc.	Junior Scientists
KH	Kohlenhydrat
KiFo	Kieler Forschungswerkstatt
LED	Light-Emitting diodes
LK	Leistungskurs
LOLA	Lübecker offenes Labor
MINT	Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik
NOS	Nature of Science
NOSI	Nature of Scientific Inquiry
NoSt	Nature of Scientists
OER	Open Educational Resources
Prof.	Professors
SFB	Sonderforschungsbereich
Sig.	Signifikanzen
STM	Scanning Tunneling Microscope
Stud.	Students
UV	Ultraviolett



## Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1.1</b>   Modell der didaktischen Rekonstruktion nach Kattmann et al. (1997).....	<b>2</b>
<b>Abb. 1.2</b>   Übersicht von Standorten, an denen Schülerlaborprogramme für Schulklassen angeboten werden (www.schuelerlabor-atlas.de, Stand: 07.2019).....	<b>6</b>
<b>Abb. 1.3</b>   Das Logo der <i>KiFo</i> (oben) und ein Foto des Eingangsgebäudes der <i>KiFo</i> (unten).....	<b>8</b>
<b>Abb. 1.4</b>   Forschende des Sonderforschungsbereiches (SFB) 677.....	<b>10</b>
<b>Abb. 1.5</b>   Darstellung schaltbarer Moleküle: Spiropyran (links oben) bzw. Merocyanin (links unten) und trans- (rechts oben) beziehungsweise cis-Azobenzol (rechts unten).....	<b>10</b>
<b>Abb. 1.6</b>   Übersichtsgrafik zur Förderung des Interesses durch authentischen Vermittlung von Naturwissenschaften. ....	<b>17</b>
<b>Abb. 1.7</b>   Ergebnisse zu den Erwartungen und Bewertungen der Authentizität und des experimentellen Arbeitens im Schülerlaborprogramm <i>klick!</i> vor Beginn des Promotionsvorhabens. ....	<b>23</b>
<b>Abb. 1.8</b>   Darstellung einer Übersicht des Forschungsstands zur Verwendung des Begriffs Authentizität, der Möglichkeiten der Integration von Authentizität im Schülerlabor und die daraus folgende Umsetzung im <i>klick!labor</i> . ....	<b>24</b>
<b>Abb. 1.9</b>   Übersicht der Promotionsstudie zur Förderung der Wahrnehmung von Authentizität. Der gelb umrandete Abschnitt wird in Kapitel 4, 5 & 7 (Publ. 1), die blau umrandeten Abschnitte werden in Kapitel 8 (Publ. 2), der grün umrandete Abschnitt in Kapitel 9 (Publ. 3) und der rot umrandete Abschnitt in Kapitel 10 (Publ. 4) ausführlich beschrieben. Eine Zusammenfassung der Studien erfolgt in Kapitel 11 (Publ. 5). ....	<b>27</b>
<b>Abb. 2.1</b>   Links: Schematische Darstellung eines Leidenfrost-Reaktors: Ein Wassertropfen auf einer etwa 300 °C heißen Oberfläche (Abbildung: Abdelaziz, R. et al., 2013). Rechts: Ein durch die Anlagerung von Citrat-Ionen stabilisierter Goldnanopartikel.....	<b>33</b>
<b>Abb. 2.3</b>   Schaltversuch des Spiropyrans mit Licht unterschiedlicher Wellenlängen. Nach dem Bestrahlen mit rotem (links) und grünem (Mitte) Licht bleibt die Spiropyran-Lösung farblos. Bei Verwendung von UV-Licht wechselt die Farbe der Lösung zu einem tiefen Blau (rechts) (Abbildungen: Stamer).....	<b>35</b>
<b>Abb. 2.4</b>   Durch das „Schalten“ des Spiropyrans mit UV-Licht entsteht das sogenannte Merocyanin. Die Merocyanin-Lösungen weisen je nach Polarität der Lösungsmittel unterschiedliche Färbungen auf. In dem unpolaren Xylol entsteht eine Blaufärbung (links) und mit zunehmender Polarität der Lösungsmittel nimmt die Rotfärbung der Lösungen zu. Dem zur Folge weist die Acetonitril-Spiropyran-Lösung (Mitte) eine Lilafärbung und die Ethanol-Spiropyran-Lösung (rechts) eine Pink-Färbung auf (Abbildung: Stamer).....	<b>35</b>
<b>Abb. 2.5</b>   Thermochrome Badeenten, die durch einen externen Reiz (Wärme) die Farbe wechseln (Abbildung: Stamer). ....	<b>36</b>
<b>Abb. 2.6</b>   Berliner Weiß (links) ist ein chemischer Schalter, der aus einem anorganischen Eisenkomplex besteht und reversibel auf elektrischen Strom, oder genauer gesagt auf Elektronen, reagiert. Bei einer Zugabe von Elektronen wird das Berliner Weiß zu Berliner Blau (Mitte) oxidiert und bei Entfernen der Stromquelle wird das Berliner Blau wieder zu Berliner Weiß reduziert. Dieser Schaltvorgang findet in einer Hydrolyt-Lösung statt, wobei eine Batterie als elektrische Stromquelle dient (Abbildungen - links & mitte: Nashan et al., 2007; Abbildung - rechts: IPN Grafikabteilung).....	<b>36</b>

<b>Abb. 2.7</b>   Schematische Anheftung eines <i>E. coli</i> Bakteriums an eine menschliche Wirtszelle. Das Bakterium ist mit Typ-1-Fimbrien ausgestattet an dessen Spitzen sich sogenannte Kohlenhydrat (KH)-Bindetaschen befinden. Mit den Bindetaschen kann das <i>E. coli</i> Bakterium an die Glycokalyx (Zuckerstrukturen auf der Wirtszelle) anheften (Abbildung aus Lindhorst, 2007).	37
<b>Abb. 5.8</b>   Schülerinnen beim Simulieren einer Proteinstruktur mit dem Programm <i>Maestro</i> (Abbildungen: Stamer et al., 2018; Pressestelle CAU Kiel (J. Siekmann)).	38
<b>Abb. 2.9</b>   Links: Schematische Darstellung einer selbstreinigenden Oberfläche, die den Lotos-Effekt aufweist. Die Mikro- (graue dreieckige Strukturen) und Nanostrukturen (graue Striche) auf der Oberfläche sind für den selbstreinigenden Effekt verantwortlich. Rechts: Schematische Darstellung einer modifizierten Kupferoberfläche. Die Laurinsäuremoleküle, dessen hydrophoben Enden nach oben von der Oberfläche abstehen, sind für den selbstreinigenden Effekt verantwortlich (Abbildungen: Bethke et al., 2017).	39
<b>Abb. 2.10</b>   Links: Untersuchung einer selbstreinigenden Oberfläche durch die Vermessung eines Kontaktwinkels $\theta$ . Mitte: Aufnahme eines Wassertropfens mit einer Mikroskop-Kamera. Der Wassertropfen befindet sich auf einer oxidierten und mit Laurinsäure modifizierten, selbstreinigenden Oberfläche. Rechts: Darstellung eines Wassertropfens auf einem Lotos-Blatt (Abbildungen – links & mitte: Bethke et al., 2017; Abbildung - rechts: Stamer).	39
<b>Abb. 2.11</b>   Links: Ein Schüler bereitet eine AFM-Messung vor (Abbildung: Schwarzer). Mitte: Vergrößerte Aufnahme eines Cantilevers mit dessen Spitze eine Oberfläche bei einer AFM-Messung abgerastert wird. Rechts: Ein, durch eine AFM-Messung erzeugtes, Bild von der Oberfläche eines menschlichen Haares (Abbildung - mitte: <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Rasterkraftmikroskop">https://de.wikipedia.org/wiki/Rasterkraftmikroskop</a> , Stand: 07.2019; Abbildung – rechts:....	40
<b>Abb. 2.12</b>   Schematische Darstellung der Funktionsweise eines AFMs	41
(© <a href="http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/rtm/rasterkraftmikroskop.htm">http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/rtm/rasterkraftmikroskop.htm</a> ).	41
<b>Abb. 4.1</b>   Mit Avogadro erstellte und optimierte Moleküle. Links: ein planares Benzolmolekül; Rechts: eine dreidimensionale Darstellung eines Acetonmoleküls.	51
<b>Abb. 4.2</b>   In <i>Maestro</i> dargestellte Proteinstruktur des Proteins FimH eines <i>E. coli</i> -Bakteriums. Die Röntgenkristallstruktur stammt aus der kostenfreien RCSB-Proteindatenbank (PDB Code: 1KLF).	52
<b>Abb. 4.4</b>   Schülerinnen während der Simulation von einer Proteinstruktur mit dem Programm <i>Maestro</i> mit dem Ziel, Eigenschaften wie die Polarität, anhand der in der Proteinstruktur vorkommenden Elemente, zu ermitteln.	53
<b>Abb. 4.3</b>   Schematische Darstellung der Anheftung eines <i>E. coli</i> -Bakteriums an eine menschliche Wirtszelle. Die Adhäsion ist von einem multivalenten Prozess vermittelt, in dem spezielle Proteine an den Fimbrienspitzen, wie das FimH, Zuckerstrukturen der Wirtszell-Glycokalyx erkennen und daran binden (Escherich, 1885; Brechner, Dinkelaker & Dreesmann, 2001). Dafür ist jedes FimH-Protein mit einer spezifischen Bindestelle ausgestattet.	54
<b>Abb. 4.5</b>   Blockierung der Bindetasche des <i>E. coli</i> Bakteriums durch das Molekül E aus Aufgabe 3 (vgl. Tab. 4.1).	58
<b>Abb. 4.6</b>   Die an einer Oberfläche fixierten molekularen Schalter lassen das Binden des <i>E. coli</i> Bakteriums an der kleinen molekularen Einheit (grün) im gestreckten Zustand (links) zu. Im gebogenen Zustand des molekularen Schalters (rechts) kann das Bakterium kaum noch an der Oberfläche binden (Weber et al., 2014).	58



<b>Fig. 5.1</b>   Average values, standard deviations and significances of the students' (in light grey), junior scientists' (in middle grey) and professors' (in dark grey) answers. ....	<b>69</b>
<b>Fig. 5.3</b>   Average values of the self-perception of junior scientists about their own work regarding the RIASEC+N dimensions sorted by stereotypical (dark grey) and non-stereotypical dimensions (light grey). ....	<b>71</b>
<b>Fig. 5.4</b>   Average values of the self-perception of professors about their own work regarding the RIASEC+N dimensions sorted by stereotypical (dark grey) and non-stereotypical dimensions (light grey). ....	<b>71</b>
<b>Fig. 6.1</b>   Self-perception of young scientists ( $N = 92$ ) regarding scientific activities they regularly conduct. ....	<b>87</b>
<b>Fig. 6.2</b>   Activities of scientists from video one. Left: Preparation of the synthesis of spiropyran (dimension <i>Realistic</i> ). Right: Analysing the resulting data (dimension <i>Investigative</i> ). ....	<b>89</b>
<b>Fig. 6.3</b>   Activities of scientists from the second video. Left: Designing of a scientific poster (dimension <i>Artistic</i> ). Right: Presentation of the results to another scientist (dimension <i>Networking</i> ). ....	<b>89</b>
<b>Fig. 6.4</b>   Activities of scientists from the third video. Left: talking about the funds of a research project (dimension <i>Enterprising</i> ). Right: giving a seminar for university students (dimension <i>Social</i> ). ....	<b>90</b>
<b>Fig. 6.6</b>   Percentage of student groups (nine groups) who noticed the activities of the dimensions <i>Realistic</i> , <i>Investigative</i> and <i>Conventional</i> in the first video within the Think-Aloud and interview study. In grey: activities which were intended integrated. All other dimensions were not mentioned by the student groups. ....	<b>91</b>
<b>Fig. 6.7</b>   Percentage of student groups (nine groups) who noticed the activities of the dimensions <i>Realistic</i> , <i>Investigative</i> , <i>Artistic</i> , <i>Social</i> , <i>Conventional</i> and <i>Networking</i> . In grey: activities which were intended integrated; in black: activities which were not explicit integrated in Video 2. Enterprising were not mentioned by the student groups. ....	<b>92</b>
<b>Fig. 6.8</b>   Percentage of student groups (eleven groups) who noticed the activities of the dimensions <i>Realistic</i> , <i>Social</i> and <i>Enterprising</i> . In grey: activities which were intended integrated; in black: activities which were not explicit integrated in Video 3. All other dimensions were not mentioned by the student groups. ....	<b>93</b>
<b>Fig. 6.9</b>   Percentage of student groups (nine groups) who noticed the activities of the dimensions <i>Realistic</i> , <i>Investigative</i> , <i>Conventional</i> and <i>Artistic</i> . In grey: activities which were intended integrated; in black: activities which were not explicit integrated in Video 4. All other dimensions were not mentioned by the student groups. ....	<b>93</b>
<b>Fig. 7.1</b>   Activities of scientists from the videos for all seven RIASEC+N dimensions. ....	<b>106</b>
<b>Fig. 7.2</b>   Overview of the experimental design. ....	<b>107</b>
<b>Fig. 7.3</b>   Means and significances of the scientific activities or rather RIASEC+N dimensions of the two groups of students, who watched the videos and did not watched the video at two different measuring points (before and after taking part in the student laboratory program). ....	<b>109</b>
<b>Fig. 7.4</b>   Expectations and evaluations of the perceived authenticity: Means and significances of the pre- and post-tests from students who watched the videos ( $n = 119$ ) and students who do not watched the videos ( $n = 117$ ). ....	<b>112</b>
<b>Abb. 9.1</b>   Ergebnisse einer Vorstudie von Schwarzer & Parchmann (2015) bezüglich der Erwartungen und Bewertungen der Schüler*innen vor (T1) und nach (T2) dem Besuch im <i>klick!</i> :labor. ....	<b>126</b>

- Abb. 9.2** | Ergebnisse bezüglich der Erwartungen und Bewertungen bezüglich des *Interesses*, der *Motivation*, des *Experimentierens*, der *Selbsttätigkeit* und des *Fachwissens* der Schüler\*innen vor (Prä) und nach (Post) dem Besuch im *klick!labor*. Die Schüler\*innen der Kontrollgruppe ( $n = 117$  Schüler\*innen) führten nur die Versuche im *klick!* durch und die Schüler\*innen der Interventionsgruppe ( $n = 119$  Schüler\*innen) bekamen zusätzlich Videos als Einblicke in den Forschungsalltag zu sehen. ....**131**
- Abb. 10.1** | Modell der Authentizität der Wissenschaftsvermittlung nach Betz et al. (2016). Übersetzung aus dem Englischen erfolgte durch Sommer, Wirth & Rummel (2018). ....**141**

# Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1.1</b>   Übersicht bisheriger Dissertationen zur Untersuchung der Wirksamkeit von Schülerlaboren ( <a href="https://www.lernortlabor.de/literatur.html">https://www.lernortlabor.de/literatur.html</a> Stand: 13.06.2019; Budke, 2019). Die Studien der unterstrichenen Autor*innen werden in Tabelle 2 detaillierter beschrieben.....	<b>11</b>
<b>Tab. 1.2</b>   Überblick ausgewählter quantitativer Evaluationsstudien in Schülerlaboren, die für die vorgestellte Studie von Bedeutung sind. ....	<b>12</b>
<b>Tab. 2.1</b>   Darstellung der zwölf Stationen des ursprünglichen <i>klick!</i> Programmes (links) und der sechs Stationen des überarbeiteten <i>klick!</i> Programmes. ....	<b>30</b>
<b>Tab. 2.2</b>   Zeitlicher Ablaufplan des 6-stündigen Besuches im <i>klick!</i> :Labor.....	<b>31</b>
<b>Tab. 2.3</b>   Übersicht der sechs Versuchsstationen des <i>klick!</i> Programmes, mit jeweiligem Schwerpunkt und einer kurzen inhaltlichen Beschreibung der Station. ....	<b>32</b>
<b>Tab. 4.1</b>   Versuche die im Schülerlaborprogramm <i>klick!</i> angeboten werden. Bei dem Versuch 4 handelt es sich um den hier vorgestellten Versuch. ....	<b>53</b>
<b>Tab. 4.2</b>   Begleitende Aufgaben zu dem Versuch.....	<b>57</b>
<b>Tab. 5.1</b>   Overview of Holland's RIASEC Dimensions (1997) in Comparison to the RIASEC+N Dimensions by Wentorf et al. (2015).....	<b>64</b>
<b>Tab. 5.2</b>   Reliabilities (Cronbach alphas) of the RIASEC+N Dimensions. ....	<b>67</b>
<b>Tab. 5.3</b>   Results of the Levene-test.....	<b>68</b>
<b>Tab. 5.4</b>   Welch - Test after Variance Analysis.....	<b>68</b>
<b>Tab. 5.5</b>   Average Values and Standard Deviations of the Students' (Stud.), Junior Scientists' (J.Sc.) and Professors' (Prof.) Answers. ....	<b>69</b>
<b>Tab. 5.6</b>   Effect Sizes (d) Regarding the Differences Between Students', Junior Scientists' and Professors' Answers. ....	<b>69</b>
<b>Tab. 5.7</b>   Significance Values (Sig.) Between Stereotypical and Non-Stereotypical Dimensions. ....	<b>72</b>
<b>Tab. 6.2</b>   Overview of the RIASEC model by Holland (1997) and the adapted RIASEC+N model by Wentorf et al. (2015). ....	<b>84</b>
<b>Tab. 6.2</b>   Example quotes of scientific professors about their own work sorted into RIASEC+N dimensions.....	<b>85</b>
<b>Tab. 6.3</b>   Example items of the RIASEC+N dimensions. ....	<b>86</b>
<b>Tab. 6.4</b>   Number of items and corresponding reliabilities.....	<b>87</b>
<b>Tab. 7.1</b>   Overview of Hollands RIASEC Dimensions and the Resultant RIASEC+N Dimensions.....	<b>103</b>
<b>Tab. 7.2</b>   Part I of the Questionnaire: RIASEC+N Dimensions for Measuring the Students' Perception Regarding Scientific Activities.....	<b>104</b>
<b>Tab. 7.3</b>   Part II of the Questionnaire: Expectation and Evaluation of Authenticity. ....	<b>104</b>
<b>Tab. 7.4</b>   Overview of the Experimental Stations and the Videos Within the Student Laboratory Program.....	<b>105</b>
<b>Tab. 7.5</b>   Number of items and reliabilities of the RIASEC+N dimensions (Number of tested students: n = 236 students). ....	<b>108</b>
<b>Tab. 7.6</b>   Means, standard deviations, group, time and interaction effects (significances and effect sizes) for the RIASEC+N dimensions (Pre- & post-tests with video: n = 119; pre- & post-tests without video: n = 117). ....	<b>109</b>

<b>Tab. 7.7</b>   Significances (p) and effect sizes (Cohen's d) for the RIASEC+N dimensions between both groups (With video: n = 119; without video: n = 117) for the pre- and post- time of measurement.....	<b>111</b>
<b>Tab. 7.8</b>   Means, standard deviations, group, time and interaction effects (significances and effect sizes) of the expectations and evaluations of the perceived authenticity (Pre- & post-tests with video (n = 119) & without (n = 117) video). .....	<b>112</b>
<b>Tab. 9.1</b>   Darstellung der Anzahl an Items, der Reliabilität und Beispielsitems zu den Erwartungen (Prä-Test) und Bewertungen (Post-Test) der Dimensionen <i>Interesse</i> , <i>Motivation</i> , <i>Fachwissen</i> , <i>Selbsttätigkeit</i> und <i>Experimentieren</i> .....	<b>128</b>
<b>Tab. 9.3</b>   Korrelation nach Pearson zwischen den Dimensionen Motivation, Interesse, Experimentieren, Selbsttätigkeit und Fachwissen vor (Prä-Test) und nach (Post-Test) einem Besuch im <i>klick!:</i> labor (n = 236 Schüler*innen).....	<b>132</b>

## Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass diese Dissertation, abgesehen von der Beratung durch meine Betreuerinnen und Betreuer, nach Inhalt und Form meine eigene Arbeit ist. Alle wörtlichen oder dem Sinne nach entnommenen Stellen anderer Veröffentlichungen wurden von mir gekennzeichnet. Die Dissertation ist unter Einhaltung der Regeln guter wissenschaftlicher Praxis der Deutschen Forschungsgemeinschaft entstanden. Die Arbeit hat weder im Ganzen noch in Teilen an anderer Stelle im Rahmen eines Promotionsverfahrens vorgelegen. Ein Teil der Ergebnisse dieser Dissertation (Kapitel 4 – 8) wurde bereits in Form von Veröffentlichungen publiziert bzw. zur Publikation eingereicht. Mir wurde kein akademischer Grad entzogen.

Kiel, den \_\_\_\_\_



## **Anhang**

**Anhang Teil 1:** Arbeitsblätter und Versuchsanleitungen der Versuchsstationen im *klick!*

**Anhang Teil 2:** Fragebögen und Skalendokumentationen

**Anhang Teil 3:** Video – Drehbücher

**Anhang Teil 4:** Ablauf der Videostudie und Interviewleitfaden

**Anhang Teil 5:** Lebenslauf & Publikationen





## **Anhang Teil 1: Arbeitsblätter und Versuchsanleitungen der Versuchsstationen im *klick!***

- Versuch 1:
  - Aufgabenzettel: Gold-Nanopartikel im Leidenfrost-Reaktor
  - Anleitung: Gold-Nanopartikel im Leidenfrost-Reaktor
  
- Versuch 2
  - Aufgabenzettel: Spiropyran
  - Anleitung: Spiropyran
  - Begleitbogen: Erläuterung zur Farbigkeit
  
- Versuch 3
  - Aufgabenzettel: Alltagsschalter
  
- Versuch 4
  - Aufgabenzettel: Computersimulationen
  - Anleitung: Computersimulationen
  
- Versuch 5
  - Aufgabenzettel: Kontaktwinkelmessungen
  - Anleitung: Kontaktwinkelmessungen
  
- Versuch 6
  - Aufgabenzettel: Vermessung einer Oberflächenstruktur mit dem Rasterkraft-und Rastertunnelmikroskop (AFM & STM)
  - Anleitung: Vermessung einer Oberflächenstruktur mit dem Rasterkraft-und Rastertunnelmikroskop (AFM & STM)
  - Begleitbogen: Erläuterung zum Tunneleffekt